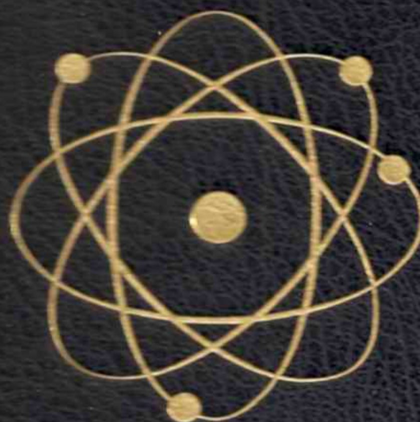


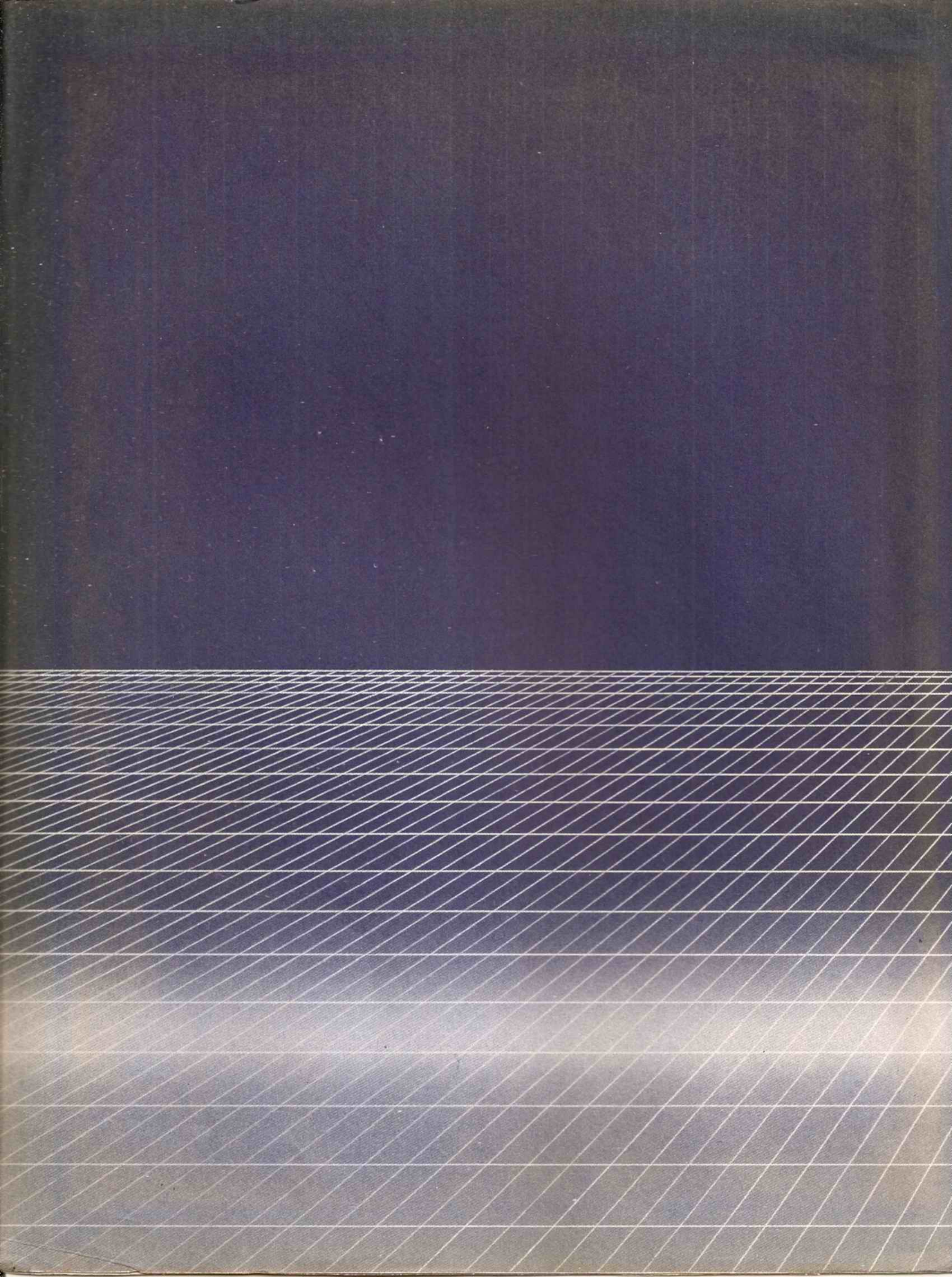


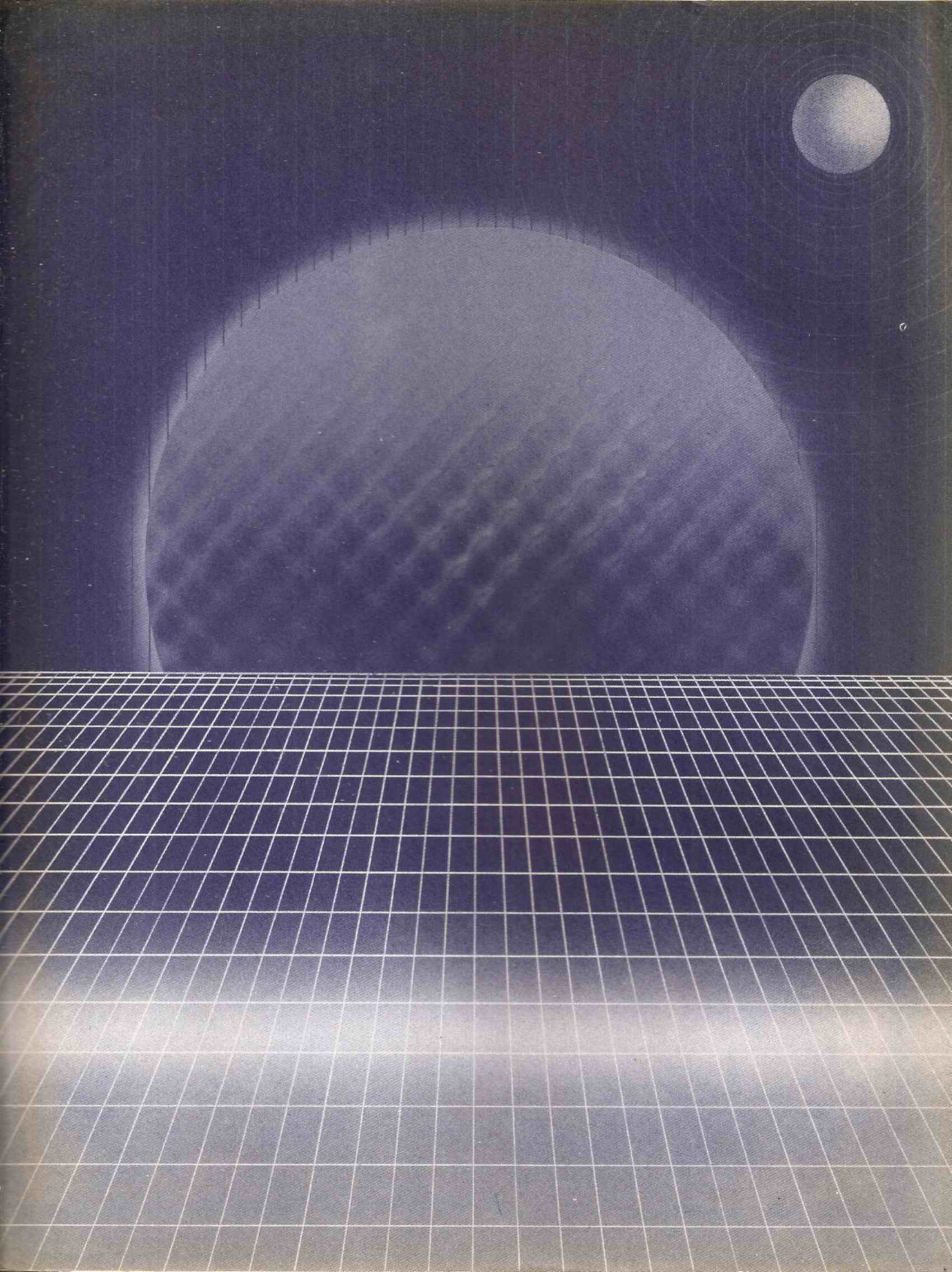
Ciencia y Técnica

5

DETERGENTE
ESQUÍ

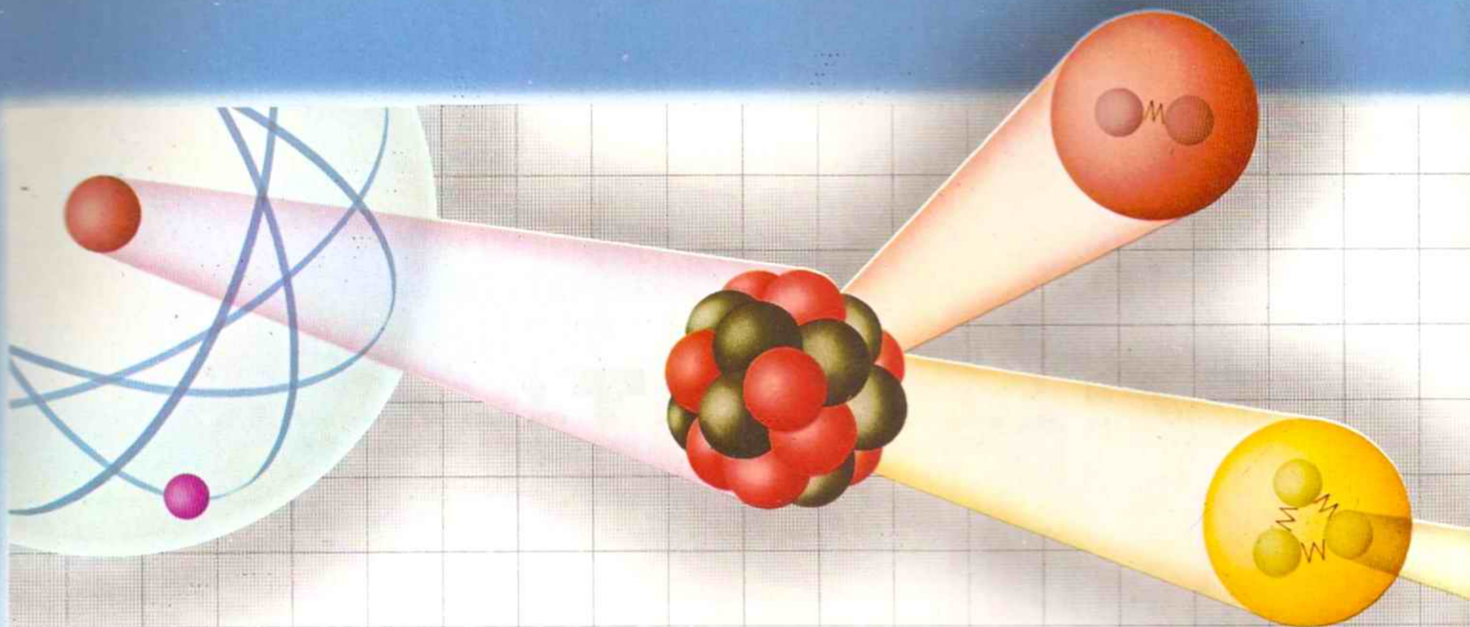
SALVAT

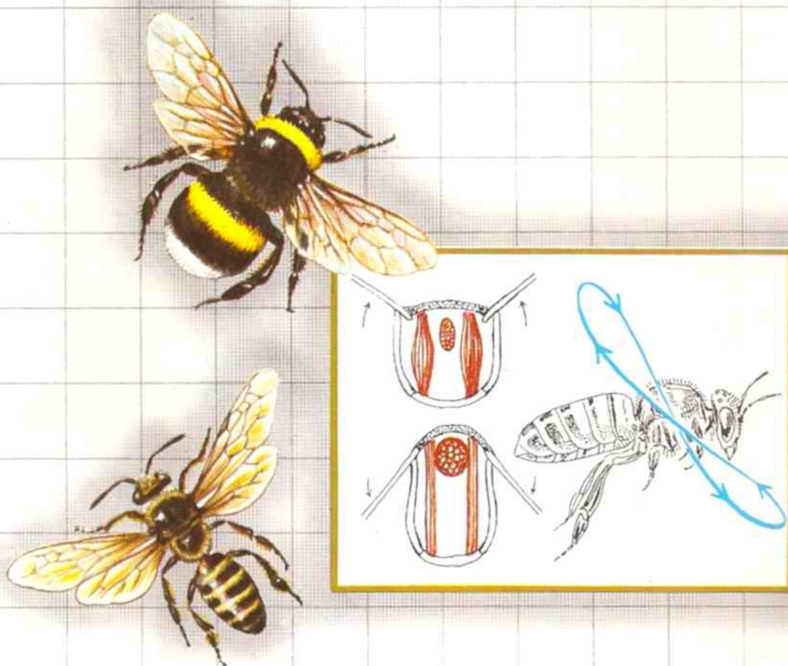




ENCICLOPEDIA SALVAT DE

# Ciencia y Técnica





Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 41-49, Barcelona-08029, España



Impresión:
Imprenta Hispano-Americana, S.A.
Mallorca, 51, Barcelona-1986
Depósito Legal: NA. 125-1984
ISBN: 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-4495-4 (Volumen-5)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

# Ciencia y Técnica



**Director**
Juan Salvat

**Director de la obra:**
Jesús Campos

**Secretaría de redacción**
Concepción Camarero

**Director artístico**
Francesc Espluga

**Redacción**
María Teresa M. Faraldo

**Producción**
Leonor Murillo

**Prólogo**
Pedro Laín Entralgo,
*Presidente de la Real Academia Española de la Lengua*



**Redacción Edición Internacional**

Christian Angermann – Donald Antrim – Timothy Bay – Trudy Bell – Shelley Berc – David Black – Diane Blanchard – Bonnie Borenstein – Judith Brister – Jean Brody – Serena Cha – Robert Crease – Peter Cunningham – Dr. Rhodes Fairbridge – Marguerite Feitlwitz – Corinna Gardner – Barbara George – Ellen Goldensohn – Jean Grasso – Fitz Patrick – Peter Gyallay-Pap – Steve Hall – James Harris – Doug Henwood – David Herndon – Paul Hoeffel – Andrea Kantor – Jonathan Katz – Jim Keegan – Philippa Keil – Percy Knauth – Bary Koffler – Barbara Kopit – Paulette Licitra – Becky London – Deborah Lumpee – Charles Mann – Robert MacVicar – Dale McAdoo – Fred Nadis – Joy Nager – Peter Oberlink – Robert Salter – Sandra Sharp – George Shea – Howard Smith – Zev Trachtenberg – Vieri Tucci – Edit Emili Villareal – Veronica Visser – Graham Yost – Sasha Zeif

**Colaboradores científicos de este volumen, edición española:**

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
César Casquet, *Universidad Complutense*
Víctor Casquet, *Licenciado en Astrofísica*
Juan José Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Isabel Espinel, *Licenciada en Ciencias Biológicas*
José Vicente García, *Instituto «Daza de Valdés»*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Angel Hernández Heras, *Ingeniero de Telecomunicación*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
Ignacio Meléndez, *Universidad Complutense*
María Rosa Miracle, *Universidad de Valencia*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
Gerardo Pastor, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
Germán Rodríguez Corral, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
María Jesús Sáinz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Pedro T. Sanz, *Instituto «L. Torres Quevedo»*
Enrique Villanueva, *Ingeniero Industrial*

**Consejo de Redacción**

# Detergente

Actualmente el lavado se ha convertido en una operación automática, efectuada por una máquina, y el "jabón" se ha sustituido por el "detergente", al que se le exigen mejores características y más eficaces modos de atacar la suciedad que los requeridos en el tradicional lavado a mano con agua y jabón.

Toman el nombre de *detergentes* una vasta gama de sustancias que tienen la propiedad de mejorar las características detersorias del agua y que van desde las simples pastillas y escamas hasta complejos polvos y líquidos.

El agua, por sí sola, no es totalmente capaz de eliminar la suciedad, especialmente aquella de naturaleza "grasa". Las moléculas del agua y las moléculas de grasa se repelen entre sí, en otras palabras: no consiguen entrar en contacto químico. Este hecho se puede observar normalmente vertiendo agua sobre una superficie en la que esté depositada una sustancia oleosa o grasa: el agua tiende a permanecer concentrada en gotas en vez de extenderse uniformemente sobre la superficie. Este hecho se explica también diciendo que entre el agua y la sustancia oleosa existe una elevada *tensión superficial*, que es aquella fuerza que tiende a mantener reunidas entre sí las gotas de una sustancia líquida. Los detergentes actúan precisamente para eliminar esta tensión superficial entre dos líquidos incompatibles como el agua y el aceite, y entran por tanto en la definición más general de *sustancias tensoactivas*. Un detergente puede cumplir esta función por cuanto sus moléculas están formadas por una parte *hidrocarbúrica*, de naturaleza afín a las sustancias grasas y oleosas, y de otra parte llamada *polar*, capaz de disolverse en el agua.

La parte hidrocarbúrica de las moléculas del detergente penetra en las partículas grasas, de modo que la superficie externa de estas últimas viene a quedar como revestida de extremidades polares: éstas, siendo solubles en el agua, arrastran las partículas en solución del sustrato al que se adherían (piel, tejidos, superficies sólidas).

**Jabones** Los jabones comunes, detergentes de más antiguo empleo, son químicamente sales de sodio o de potasio de los ácidos grasos obtenidos de las grasas animales o aceites vegetales, a través de un proceso conocido como *saponificación* (que consiste en un tratamiento de las grasas con hidróxido de sodio y de potasio).









A la izquierda, una gran instalación para la fabricación de detergentes, producto característico de la sociedad moderna. Arriba, la composición de un detergente, que es, en primera aproximación, obtenida de la unión de un tensoactivo con una serie de productos complementarios que desempeñan las más variadas funciones. Entre éstos hay enzimas para la descomposición de ciertas sustancias de la suciedad y blanqueadores ópticos para mejorar la apariencia del lavado.



Su importancia ha ido poco a poco disminuyendo a partir de los años cuarenta, en que comenzó a desarrollarse una nueva clase de detergentes: los derivados del petróleo, por lo que se les llamó *sintéticos*.

**Detergentes sintéticos** Los sulfonatos de sodio representan el grupo más común entre los detergentes sintéticos. Forman parte de éstos los alquilbencensulfonatos de sodio o ABS, uno de los primeros detergentes sintéticos que se emplearon. Al igual que los jabones, los alquilbencensulfonatos de sodio se disocian en un ion positivo (catión) de sodio y en un ion negativo o anión (alquilbencensulfonato) que representa la parte activa: por este motivo se los clasifica como *aniónicos*.

Otras clases de detergentes sintéticos son: los *catiónicos*, donde la parte activa es un catión; los *no-iónicos*, que no se disocian en iones en solución acuosa; y los *anfolíticos*, que contienen en su molécula un grupo ácido y un grupo básico.

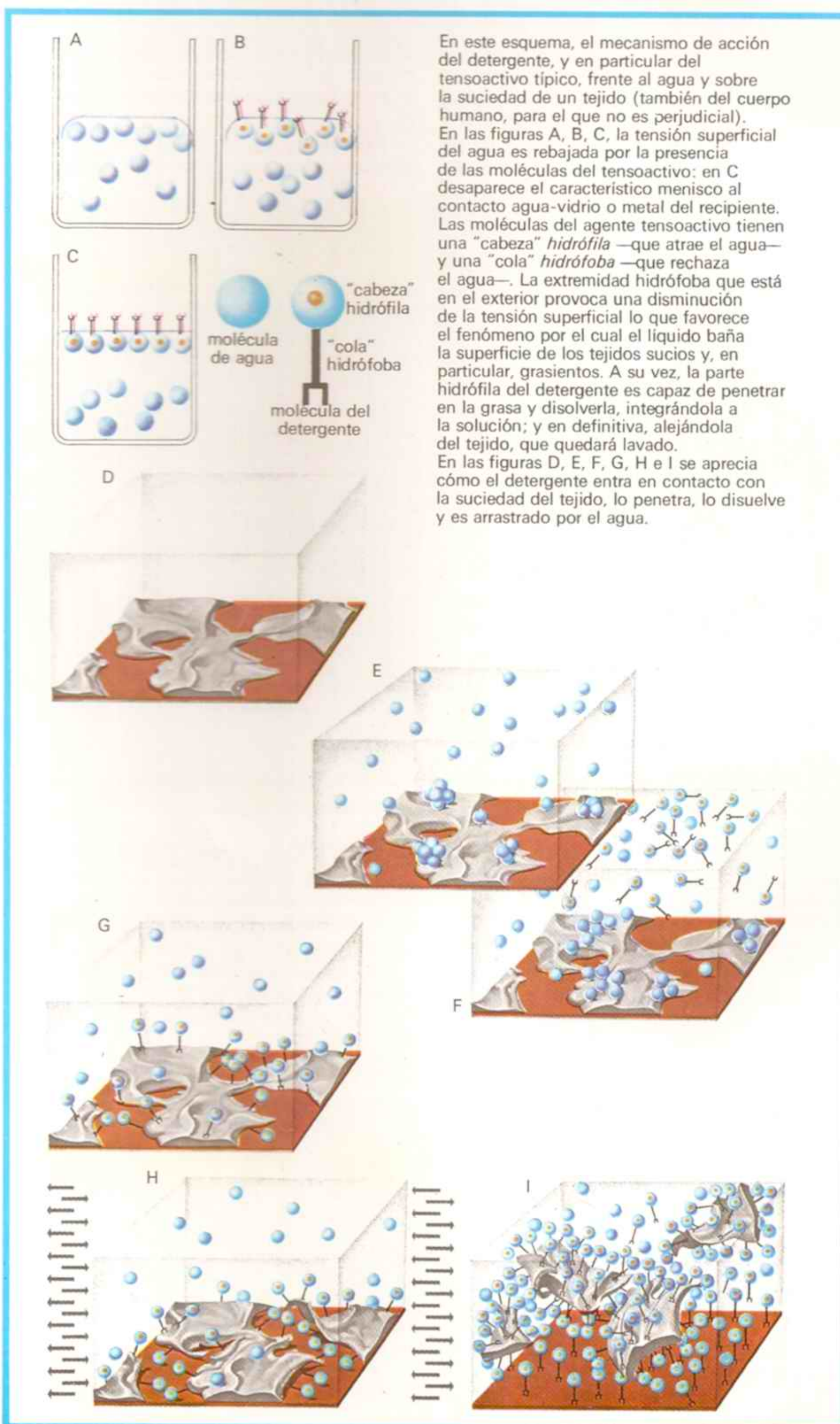
Los detergentes existentes en el mercado contienen, además del detergente sintético propiamente dicho, una serie de sustancias coadyuvantes llamadas *builders*, que tienen la misión de mejorar las prestaciones del componente activo. Entre los coadyuvantes más frecuentes figuran los siguientes: el silicato de sodio, que tiene un gran poder dispersor de la suciedad; los fosfatos de sodio, que actúan con los iones de calcio presentes en el agua dura impidiendo que la presencia de estos iones reduzca la acción del detergente; el perborato y el percarbonato de sodio, que tienen una acción blanqueadora y sirven para eliminar de la ropa blanca las manchas mediante un proceso de oxidación; la sal sódica de metilcelulosacarboxílico, que otorga a la solución una cierta viscosidad, impidiendo a la suciedad volver a depositarse sobre el tejido durante el proceso del lavado; los blanqueadores ópticos, que tienen una gran afinidad con las fibras en las que quedan absorbidos (son sustancias que absorben energía en la banda del ultravioleta y emiten una débil fluorescencia azulada; este color, combinado con el de la ropa blanca amarillenta, da la sensación de un blanco reluciente).

Los detergentes aniónicos tienen una acción irritante sobre la piel al privarla de las grasas naturales, produciendo enrojecimiento y dermatitis. Los detergentes no iónicos tienen una acción ligeramente irritante sobre la epidermis y resultan inocuos si son ingeridos. Los detergentes catiónicos son de una toxicidad elevada; las soluciones concentradas son rápidamente absorbidas e interfieren con muchas funciones celulares. Un aspecto particular de la toxicidad de los detergentes es el relacionado con su no biodegradabilidad, por lo que se asiste a una acumulación en las aguas de superficie de los ríos, etc., con la posibilidad de contaminar las aguas profundas. Es posible evitar tal inconveniente sustituyendo los detergentes de cadena ramificada, difícilmente biodegradables, por detergentes de cadena lineal, fácilmente descomponibles por las bacterias aerobias.

Véase **Jabón; Tensión superficial**

**DETERGENTES**

| | |
|---|---|
| Aniónicos | carboxilatos<br>sulfonatos<br>sulfatos<br>varios |
| No iónicos | etóxidos etéreos<br>etóxidos estéreos<br>etóxidos amídicos<br>etóxidos amínicos |
| Catiónicos | amina<br>amonio cuaternario<br>otros derivados del nitrógeno |
| Anfolíticos | varios |




En este esquema, el mecanismo de acción del detergente, y en particular del tensoactivo típico, frente al agua y sobre la suciedad de un tejido (también del cuerpo humano, para el que no es perjudicial). En las figuras A, B, C, la tensión superficial del agua es rebajada por la presencia de las moléculas del tensoactivo: en C desaparece el característico menisco al contacto agua-vidrio o metal del recipiente. Las moléculas del agente tensoactivo tienen una "cabeza" *hidrófila* —que atrae el agua— y una "cola" *hidrófoba* —que rechaza el agua—. La extremidad hidrófoba que está en el exterior provoca una disminución de la tensión superficial lo que favorece el fenómeno por el cual el líquido baña la superficie de los tejidos sucios y, en particular, grasientos. A su vez, la parte hidrófila del detergente es capaz de penetrar en la grasa y disolverla, integrándola a la solución; y en definitiva, alejándola del tejido, que quedará lavado. En las figuras D, E, F, G, H e I se aprecia cómo el detergente entra en contacto con la suciedad del tejido, lo penetra, lo disuelve y es arrastrado por el agua.

# Determinantes

Si se tiene una tabla de $n^2$ números dispuestos en $n$ filas y $n$ columnas ordenadas, se define su *determinante* como la suma algebraica de los n! productos que es posible obtener con $n$ factores elegidos uno de cada fila y cada columna, afectado cada producto del signo (+) o del (−) según que las permutaciones de las filas y de las columnas sean de la misma clase o no.

A la tabla de $n^2$ números citada se le denomina *matriz cuadrada de orden n*, y a aquéllos, sus *elementos* (y, por extensión, del determinante). Las filas y columnas se ordenan con los índices 1, 2, 3,...$n$ y, consecuentemente, los elementos se designan por una pareja de índices, normalmente el primero para indicar fila y el segundo columna; así, por ejemplo, $a_{ij}$ es el elemento de la fila $i$ que ocupa el lugar $j$. Los elementos son números reales o complejos usualmente; sin embargo, la teoría puede extenderse al caso de que pertenezcan a un cuerpo cualquiera.

Es frecuente considerar el determinante definido, indistintamente, a partir de los $n^2$ elementos, de la matriz como un todo o, también, de los $n$ vectores *n-dimensionales* cuyas componentes representan las $n$ columnas (o, si se adopta otra posibilidad, las $n$ filas).

Notaciones frecuentes para un determinante son las siguientes:

$$\det A = \det (a_{ij}) = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \cdots & \cdots & & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

si los $(a_{ij})$, con $i, j = 1, 2,...n$, son los elementos y A representa la matriz.

A veces, junto a las filas y columnas se consideran también las diagonales; así se hace referencia frecuentemente a la *diagonal principal*, que es la formada por los elementos $a_{11}, a_{22},...a_{nn}$.

Si se recuerda que la clase de una permutación viene dada por la paridad del número de sus inversiones —por ejemplo (1, 2, 3) es par y (2, 1, 3) es impar— se entenderá que la fórmula que sigue es una de las posibles y más sencillas maneras de escribir simbólicamente la precedente definición de determinante:

$$\det A = \sum (-1)^r a_{1j_1} a_{2j_2} \ldots a_{nj_n}$$

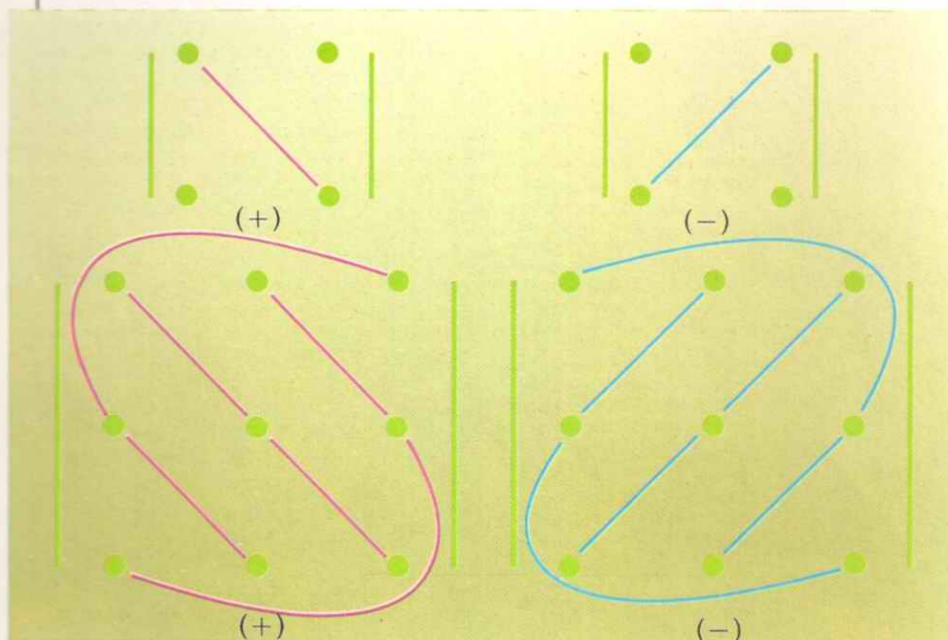
donde la $\Sigma$ se extiende a los n! casos posibles de permutaciones de columnas y $r$ es la paridad correspondiente a la $(j_1, j_2,...j_n)$.

Para matrices de órdenes 1, 2 y 3, los determinantes se desarrollan inmediatamente, aplicando la fórmula anterior o, simplemente la definición:

$$|a_{11}| = a_{11}$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31} - a_{11}a_{23}a_{32} - a_{12}a_{21}a_{33}$$




En la ilustración se pone de manifiesto gráficamente un modo de desarrollo para los determinantes de órdenes 2 y 3. Las líneas que enlazan puntos indican los elementos que multiplicados dan los términos del desarrollo; el signo (+) o (−) de cada dibujo es el que corresponde a los respectivos términos. La regla que da este desarrollo del determinante de 3.er orden se suele llamar "de Sarrus".

**Algunas propiedades elementales** De la propia definición se desprenden inmediatamente las siguientes sencillas propiedades:

1. *Si un determinante tiene nulos todos los elementos de una fila (o columna) es nulo.*

2. *Si un determinante tiene nulos todos los elementos distintos de los que forman la diagonal principal su valor coincide con el producto de los elementos de ésta.*

3. *Si se cambian las filas por las columnas (guardando los órdenes) el valor del determinante no varía.*

4. *Si se intercambian entre sí dos filas (o dos columnas) en un determinante el valor de éste queda multiplicado por -1.*

Una consecuencia inmediata de esta última propiedad es la siguiente:

5. *Si un determinante tiene idénticas dos filas (o dos columnas) es nulo.*

La prueba es obvia; si vale $v$, al intercambiar las dos filas tendría que valer $-v$, pero también sigue valiendo $v$, lo que sólo es posible si $v = 0$.

Una simple aplicación de la propiedad distributiva da las dos propiedades adicionales:

6. *Si se multiplican todos los elementos de una fila (o columna) por un mismo número el determinante queda multiplicado también por él.*

7. *La suma de dos determinantes formados por los mismos elementos, salvo en lo que se refiere a una fila (o columna), es otro determinante que conserva iguales los elementos comunes y en el lugar de las filas (o columnas) distintas figura otra formada por la suma, elemento a elemento, de aquéllas.*

Corolario inmediato de las propiedades (5) y (6) es la propiedad:

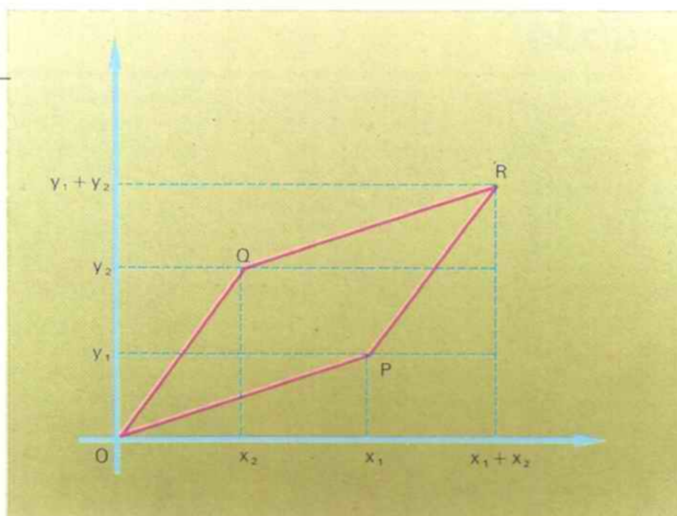
8. *Si una fila (o columna) de un determinante tiene sus elementos proporcionales a los de otra éste se anula.*

La aplicación conjunta de esta última y la (7) da, a su vez, las propiedades que siguen:

9. *Un determinante es nulo cuando una de sus filas (o columnas) es igual a la combinación lineal de otras (es decir: a la suma, elemento a elemento, de las mismas previamente multiplicadas por coeficientes no nulos).*

10. *Un determinante permanece invariable si a una fila (o columna) se le suma una combinación lineal de otras.*

Dado que el desarrollo directo de un determinante de orden superior a 3 es muy trabajoso y ya para órdenes bastante bajos se convierte en una tarea imposible (incluso si se dispone de un gran ordenador), debido al fabuloso crecimiento de n!, ha habido que arbitrar procedimientos para simplificar el problema. Estos procedimientos discurren por dos caminos diferentes: el primero consiste en transformar el determinante en otro más sencillo —por ejemplo con muchos elementos nulos— a base de lo que se llaman *operaciones elementales*, que no son otra cosa que la aplicación de las propiedades que hemos señalado con los números (4), (6) y (10). El segundo procedimiento consiste en desarrollar el determinante de orden $n$ en una suma que incluya determinantes de orden menor.




Un resultado básico es que el paralelogramo *OPRO* construido sobre los vectores $\overline{OP}$ y $\overline{OQ}$ tiene como área

$$\begin{vmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_1 & y_1 & 0 \\ x_2 & y_2 & 0 \end{vmatrix}$$

Puede probarse de muchos modos; uno sencillo es sustituir áreas equivalentes hasta reducirle a la diferencia de los dos rectángulos de bases $x_1$ y $x_2$ y alturas $y_2$ e $y_1$; es decir: $x_1y_2 - x_2y_1$.

**Desarrollos** Existen varios de dichos procedimientos; el más simple es el llamado "desarrollo por los elementos de una fila", que puede comprobarse trivialmente para el caso del determinante de tercer orden desarrollado por la primera fila:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - a_{12} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix} + a_{13} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix}$$

Para dar una expresión general de dicho procedimiento hay que utilizar un par de conceptos auxiliares: los de "menor" y "adjunto". Se llama *menor complementario* del elemento $a_{ij}$ en un determinante de orden *n* el determinante de orden $n - 1$ resultante de suprimir en el primero la fila *i* y la columna *j*; se denomina *adjunto* (o, si se quiere eludir cierto riesgo de confusión, *menor complementario algebraico*) a dicho menor afectado del signo (+) o (–) según que $i + j$ sea par o impar.

Este par de conceptos son, en realidad, un caso particular de otros más generales. En efecto: se pueden formar *menores* de cualquier orden $h < n$ sin más que tomar los elementos de *h* filas y *h* columnas dadas y considerar su *menor complementario* formado por las $n - h$ restantes filas y columnas; en tal caso, el signo (+) o (–) con que se afecta el *adjunto* corresponde a la paridad de la suma de todos los índices de filas y columnas (de las *h* o de las $n - h$, porque el resultado es idéntico).

El procedimiento antes citado, con estas ideas, queda regulado por el siguiente enunciado: "Un determinante vale la suma de los productos formados por los elementos de una fila (o columna) con sus respectivos adjuntos".

El tipo más general de desarrollo es el que permite el teorema de Laplace, que dice: " El valor de un determinante es la suma de los productos que pueden obtenerse multiplicando todos los menores de orden *h* formados con *h* filas (o columnas) por sus correspondientes adjuntos".

Obviamente, el desarrollo por una fila es un caso muy particular de éste.

Una aplicación del teorema de Laplace permite obtener el de Binet-Cauchy: El producto de dos determinantes de orden *n* es otro determinante del mismo orden tal que:

$$\det A \times \det B = \det C$$

siendo los elementos del último

$$c_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \dots + a_{in}b_{nj}$$

(es decir: $c_{ij}$ es la suma de los productos de los elementos de la fila *i* de A por los correspondientes de la columna *j* de B).

Utilizando una conocida definición del Algebra matricial podría escribirse que:

$$\det A \times \det B = \det (AB)$$

Conviene señalar que cuando los dos determinantes no son del mismo orden también se puede aplicar el anterior resultado "orlando" previamente el de menor dimensión en la siguiente forma:

$$\begin{vmatrix} a_{11} \dots a_{1h} \\ \dots\dots \\ a_{h1} \dots a_{hh} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \overset{n-h}{1 \dots 0} & \overset{h}{0 \dots 0} \\ \dots\dots & \dots\dots \\ 0 \dots 1 & 0 \dots 0 \\ 0 \dots 0 & a_{11} \dots a_{1h} \\ \dots\dots & \dots\dots \\ 0 \dots 0 & a_{h1} \dots a_{hh} \end{vmatrix}$$

**Notas complementarias** No convendría concluir sin decir unas palabras sobre dos cuestiones interesantes; la primera, la de las aplicaciones de la teoría de determinantes; la segunda, su formulación en la matemática moderna.

La aplicación más directa —y la que originó el propio concepto— se encuentra en la solución de sistemas de ecuaciones lineales. De ahí se comprende, dada la aparición de tales sistemas en múltiples cuestiones de Algebra y Análisis, que se encuentren aplicaciones muy variadas de los determinantes (por ejemplo, en la Teoría de funciones, Ecuaciones diferenciales e Integrales, etc.).

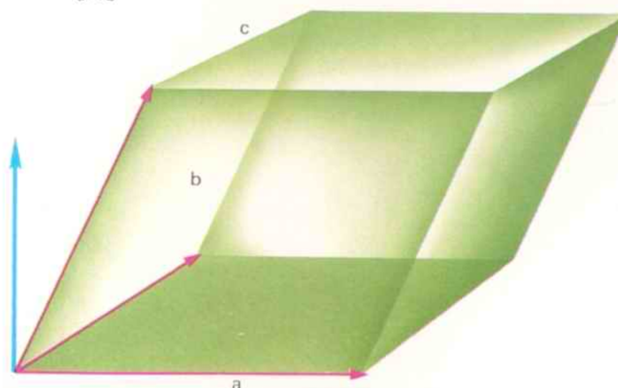
Con la invención del Cálculo de vectores y matrices primero y, más recientemente, del Algebra lineal y multilineal, los determinantes se presentaron en un marco más amplio y ganaron posibilidades de aplicación en todos los campos que recurren para su formulación matemática a aquéllos.

En el Algebra moderna se introduce, precisamente, el concepto de determinante de la siguiente forma. Sea E un espacio vectorial de dimensión *n* (sobre el cuerpo $\mathbb{R}$ ó $\mathbb{C}$) y sea $(\mathbf{e}_1 \dots \mathbf{e}_n)$ una base del espacio. Puede probarse que existe una y sólo una forma *n-lineal* alternada en E que toma el valor 1 para $(\mathbf{e}_1 \dots \mathbf{e}_n)$, a ella se le llama *determinante* en la base dada. Cuando la forma se aplica a los *n* vectores $\mathbf{a}_1 \dots \mathbf{a}_n$, de componentes $a_{ij}$ en la citada base, se obtiene el número det $(a_{ij})$.

Aclaremos que: una forma lineal es una función que atribuye a cada vector un número del cuerpo de definición, de tal modo que si a varios vectores les corresponden varios números, a una combinación lineal de aquéllos le corresponde una combinación lineal con los mismos coeficientes de éstos; una forma es *n-lineal* cuando se refiere a *n* variables vectoriales y es lineal en cada una de ellas (cuando las demás permanecen constantes). Por último, una forma *n-lineal* es alternada cuando cambia su valor de signo al intercambiar dos variables entre sí (o, lo que es lo mismo, que se anula cuando dos vectores son iguales).

Con la nueva definición de determinante (y viendo ahora las filas o columnas, según el convenio que se adopte, como vectores referidos a una base) se pueden reencontrar, o interpretar, todas las propiedades antes citadas en su versión elemental. Por otra parte, se hacen más naturales algunas de las aplicaciones algebraicas y geométricas; por ejemplo, la que se basa en considerar el determinante como área, volumen o hipervolumen del paralelogramo, paralelepípedo o hiperparalelepípedo formado por los *n* vectores que le definen.

Véase **Ecuaciones y sistemas lineales; Espacios vectoriales y afines; Matrices**




En el espacio euclídeo el volumen del paralelepípedo construido sobre 3 vectores *a*, *b* y *c* es el determinante de sus componentes

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$$

En cálculo vectorial se deduce del hecho simple de que tal volumen es el producto escalar del vector $a \wedge b$ (producto vectorial *a* por *b*) por el vector *c*; es decir $(a \wedge b) \cdot c$, y éste vale precisamente el determinante.

# Devónico, período

| Años $10^6$ | Eras | Períodos | |
|---|---|---|---|
| 1,8 | Cenozoica | Cuaternario | |
| | | Terciario | Neógeno |
| 67 | | | Paleógeno |
| 141 | Mesozoica | Cretácico | |
| 195 | | Jurásico | |
| 230 | | Triásico | |
| 280 | Paleozoica | Pérmico | |
| 347 | | Carbonífero | |
| 396 | | Devónico | |
| 435 | | Silúrico | |
| 500 | | Ordoviciense | |
| 570 | | Cámbrico | |
| 2.700 | Precámbrica | Proterozoico | |
| 4.000 | | Arcaico | |




A la izquierda, situación geográfica de las tierras emergidas en el Devónico, caracterizada por la existencia de tres grandes bloques continentales: el bloque constituido por América del Norte y Europa, el bloque de Asia y el bloque formado por América del Sur, Africa, India Australia y Antártida. Estudios recientes sobre la deriva de los continentes han demostrado que todas las masas continentales, excluido el bloque asiático, estaban en el hemisferio meridional.

Hace unos 150 años, al levantarse los primeros mapas de las formaciones rocosas de Europa y de la costa oriental de América del Norte, los geólogos constataron que determinados tipos de rocas eran característicos de ciertas regiones. Así, las rocas de Devonshire, en Inglaterra, se llamaron devónicas para resaltar su diferencia respecto a las de otros lugares. Más tarde se encontraron formaciones rocosas similares en América del Norte, en los montes Apalaches.

Según las dataciones más recientes, basadas en el tiempo conocido de desintegración radiactiva de algunos minerales débilmente radiactivos contenidos en estas rocas, sabemos que las mismas se formaron en un intervalo de 50 millones de años, que abarca desde los 396 a los 347 millones de años de antigüedad, y que recibe el nombre de período Devónico.

**Distribución de las rocas devónicas** A causa de la deriva de los continentes, esto es, al movimiento de grandes masas continentales causado por los desplazamientos de la corteza terrestre en el transcurso de millones de años, se han encontrado rocas devónicas en latitudes muy diferentes de aquéllas en las que se formaron. Los sedimentos devónicos de los Apalaches y de Europa noroccidental se depositaron de hecho en un largo brazo de océano que se extendía a lo largo del Ecuador. No sorprende por tanto el hecho de encontrar restos de vegetación tropical a lo lar-

Abajo, reconstrucción de un ambiente del Devónico: los equinodermos están en el ápice de su desarrollo, e igualmente difundidos los moluscos. Los artrópodos alcanzan notables dimensiones y aún existen trilobites. En la página siguiente, una espora *Cyclogranisporites*, un fósil de Canadá, y debajo, fósil de *Brachysporifer*, un braquiópodo.

*Dinichthys*

estrella de mar

crinoideo

trilobites

El Devónico es el período en el que nos encontramos frente a la aparición de numerosas especies que han presentado notables formas de adaptación a los nuevos ambientes que se crearon, a causa de los fenómenos de regresión y de transgresión de los mares. En efecto, durante el Devónico tuvo lugar la emersión de amplias extensiones continentales. No obstante, ya en el Silúrico alguna que otra especie animal salía de las aguas hacia la conquista de las tierras emergidas, escasamente pobladas de primitivas formas de vegetación. Característica del Devónico es la aparición de los anfibios y de los primeros insectos terrestres. La flora y la fauna que habitan los mares son muy ricas en especies. Los equinodermos alcanzan su máximo desarrollo junto con los crinoideos, aunque también son muy numerosos los asteroideos, y empiezan a destacar los moluscos y los lamelibranquios de gran tamaño. Sin embargo, el hecho más sobresaliente, además de la aparición de las plantas superiores sobre las tierras emergidas, es la aparición de los peces acorazados, con el cuerpo protegido por un dermatoesqueleto con anchas placas óseas.

go de sus costas y escolleras coralíferas en sus aguas más templadas.

En los últimos 400 millones de años, estas formaciones, que en una ocasión fueron ecuatoriales, con fósiles de plantas y animales característicos de aquel clima, se han desplazado unos 3.200 kilómetros en dirección Norte. El polo Norte, en aquellos tiempos, estaba en Asia noroccidental, y el polo Sur, en algún punto de Africa del Sur, en donde los geólogos han encontrado huellas de antiguos glaciares. Evidentemente la geografía del período Devónico era muy diferente a la de hoy en día, aunque en general el clima de la Tierra y bastantes plantas y animales sean más o menos los mismos.

**La era de los peces** El período Devónico empezó en la segunda parte de la era Paleozoica, cuando por primera vez algunos animales primitivos se transformaron en seres nadadores dotados de espina dorsal: los primeros peces. Las rocas devónicas contienen restos fósiles de peces, extraordinariamente bien conservados. Este período se conoce como *la era de los peces*, puesto que, al parecer, en sus lagos y océanos pululaban literalmente peces de numerosas variedades. En aquel tiempo eran los seres predominantes sobre nuestro planeta. También hoy en día siguen predominando en las aguas, al cabo de casi 400 millones de años.

**Otros fósiles devónicos** Otros fósiles particularmente imponentes son los esqueletos de las madréporas. En zonas favorables, estas antiguas escolleras arrecifales conservaron una estructura hueca, que constituye un tipo de roca que actualmente aparece impregnada por un combustible fósil muy preciado: el petróleo. Escolleras y yacimientos de petróleo de este período se encuentran en América del Norte, en Europa, en Africa del Norte y en Australia. Además de los corales, en los mares habitaban otros muchos organismos, siendo particularmente interesantes los braquiópodos y los lirios de mar, que, aunque característicos de este período, han persistido hasta la actualidad.

Sobre las tierras emergidas, las plantas del período Devónico habían alcanzado las dimensiones de las palmeras; pero también había gigantescos helechos arbóreos con alturas de hasta casi diez metros. En las montañas Catskill, en el Estado de Nueva York (EE UU), se han descubierto troncos de palmeras fósiles de este período que tenían un diámetro de 60 centímetros.

Véase **Geología; Paleozoica, era**










# Diabetes

El tratamiento de la diabetes representa un auténtico logro de la ciencia médica moderna. Hace tan sólo sesenta años la diabetes era una enfermedad incurable y quienes la padecían sufrían graves trastornos (ceguera, mutilaciones) y, en gran parte, morían.

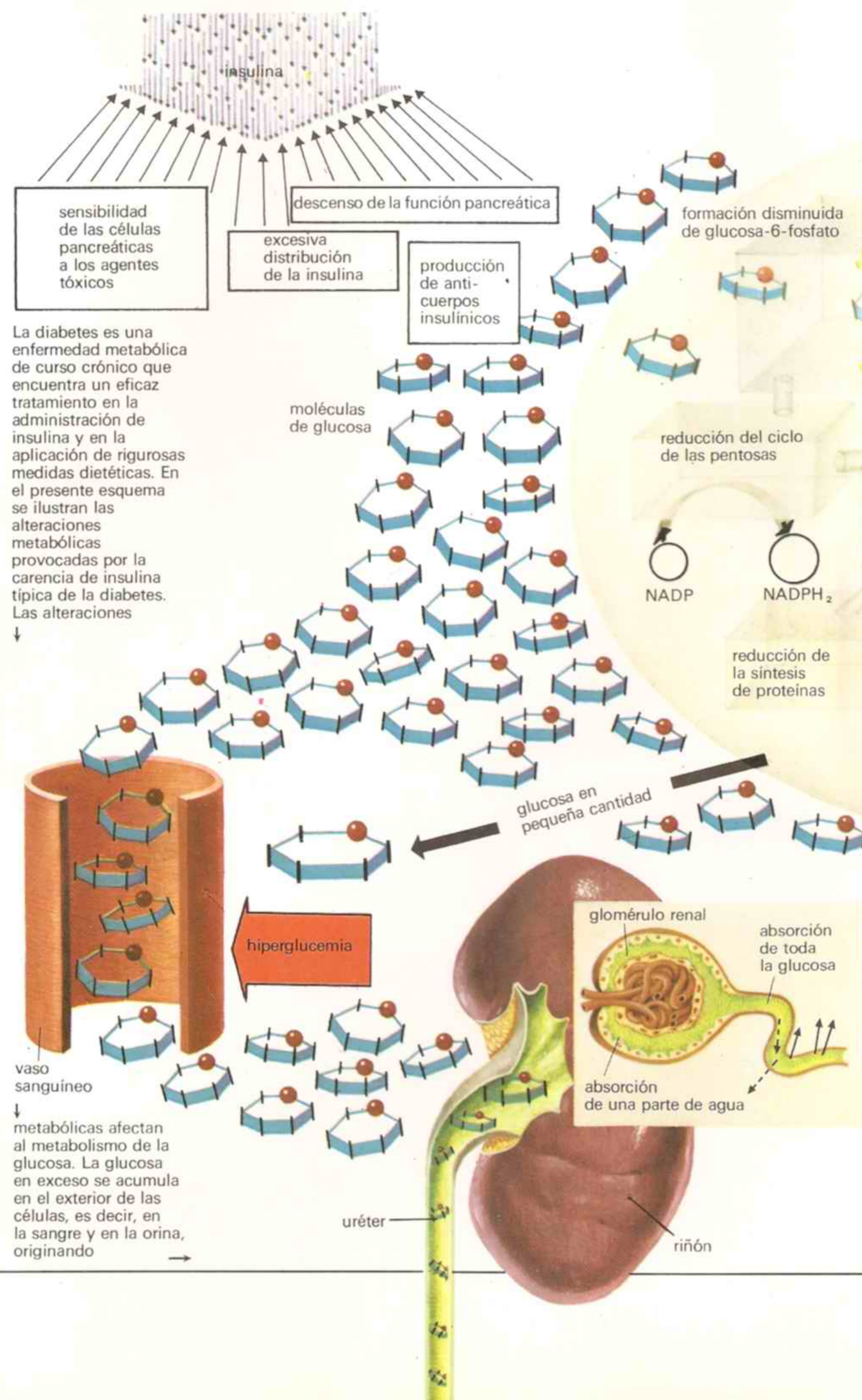
La diabetes era una enfermedad ya conocida en la época en que se crearon los primeros archivos médicos. El término *diabetes* deriva de la palabra griega que significa "pasar a través", y que hace referencia a la sed excesiva y a la frecuencia de la micción, dos síntomas bastante frecuentes de esta enfermedad. Existen dos tipos diferentes de diabetes que provocan estos trastornos: la *diabetes mellitus* o *diabetes sacarina*, término que deriva del latín y que significa "endulzado", es, con mucho, la más frecuente y de más trascendencia clínica. Se trata de una enfermedad caracterizada por un trastorno del metabolismo de los hidratos de carbono, con una deficiente utilización de la glucosa y una anormal formación de insulina. El otro tipo de diabetes, menos grave y en el cual no existe presencia de azúcar en la orina, está originado por un trastorno de la hipófisis. Se conoce como *diabetes insípida*, enfermedad poco frecuente producida por falta de hormona antidiurética. Generalmente, cuando se utiliza el término diabetes, sin ninguna otra especificación, se refiere a la *diabetes mellitus*.

**Una enfermedad crónica** La diabetes es una enfermedad crónica que puede afectar a personas de cualquier edad, si bien es más fácil encontrarla en pacientes por encima de los 40 años y es más frecuente en las mujeres que en los varones. La causa principal consiste en la falta de insulina, una hormona producida por el páncreas que regula la utilización de los azúcares y de otras sustancias según las necesidades del organismo. De ordinario los hidratos de carbono se transforman en glucosa, una molécula de alto nivel energético. La glucosa no utilizada se almacena en forma de glucógeno (almidón animal) en el hígado y en los tejidos musculares. Cuando es necesario, el glucógeno se transforma de nuevo en glucosa para proporcionar la energía requerida. La insulina es imprescindible para el organismo ya que gracias a la acción de esta hormona las células son capaces de utilizar la glucosa. Si no existe insulina disponible en cantidad suficiente, la glucosa se acumula en la sangre en cantidades excesivas; este hecho puede provocar desequilibrios que a su vez pueden conducir a estado de coma y a la muerte.

Las causas de esta insuficiencia de insulina no son todavía bien conocidas. En efecto, el descubrimiento de la relación entre la insulina y la diabetes tuvo lugar en el año 1921, cuando Frederick Banting y Charles Best, dos jóvenes médicos canadienses, observaron que la falta de insulina provocaba la diabetes. Pudieron además aislar esta sustancia de los *islotes de Langerhans* (células especializadas del páncreas) y le dieron el nombre de *insulina*, del término latino que significa "de la isla". Este descubrimiento modificó totalmente la vida de millones de diabéticos en todo el mundo. La insulina se podía administrar como cualquier otro fármaco y sus efectos fueron sorprendentemente buenos después de que fuera obtenida en forma cristalina en 1927.

**Una simple inyección** La insulina no puede suministrarse por vía oral debido a que esta sustancia es inactivada por las reacciones químicas que tienen lugar durante la digestión. Por ello debe administrarse mediante una inyección subcutánea. Sin embargo, este procedimiento es tan simple que la mayor parte de los diabéticos son capaces de inyectársela por sí mismos. Con este fin se utilizan jeringas especiales con indicación exacta de la dosis. En la actualidad continúa la investigación de otros tratamientos para esta enfermedad.

Los estudios llevados a cabo en pacientes diabéticos obesos pueden indicar tal vez un camino diferente para la búsqueda de un remedio para la diabetes. La obe-




La diabetes es una enfermedad metabólica de curso crónico que encuentra un eficaz tratamiento en la administración de insulina y en la aplicación de rigurosas medidas dietéticas. En el presente esquema se ilustran las alteraciones metabólicas provocadas por la carencia de insulina típica de la diabetes. Las alteraciones metabólicas afectan al metabolismo de la glucosa. La glucosa en exceso se acumula en el exterior de las células, es decir, en la sangre y en la orina, originando

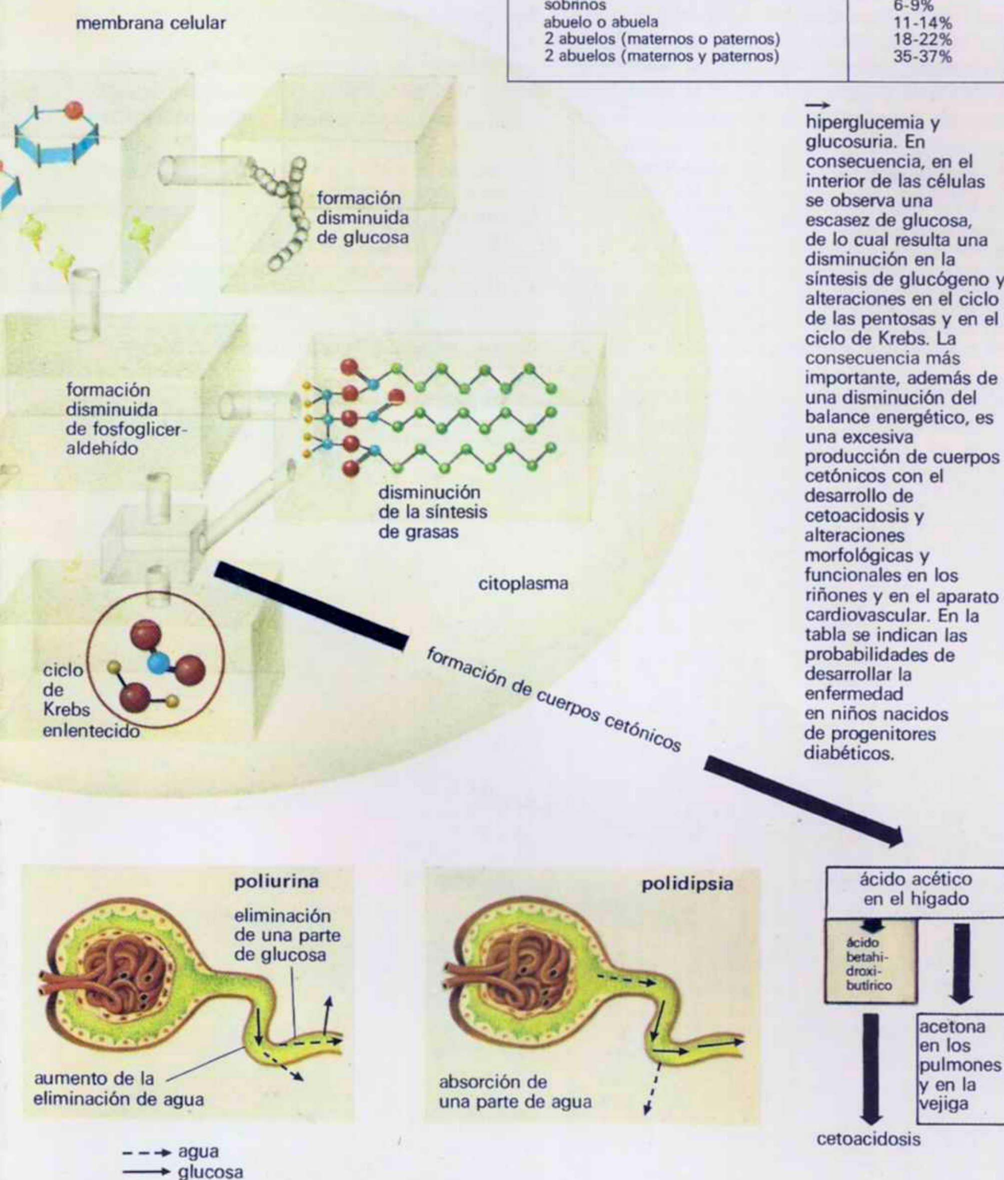
sidad conlleva una menor sensibilidad a la insulina, con la consecuencia de que algunos pacientes excesivamente obesos, con el transcurso del tiempo, pueden necesitar cantidades exageradas de insulina para vivir gozando de salud. En consecuencia, a estos diabéticos se les prescribe una dieta adecuada y gimnasia de modo que, con la disminución del peso, la insulina pueda ser eficaz. Habitualmente la diabetes es menos grave en las personas adultas que en los niños. Los pacientes adultos, por lo general, pueden retornar a los valores normales de azúcar en la sangre (glucemia) siguiendo una dieta adecuada, y sin necesidad de recurrir a las inyecciones de insulina. Existen además otros medicamentos que, administrados por vía oral, son capaces de estimular la producción de insulina por parte del propio organismo.

Cuando no se lleva a cabo el tratamiento, tiene lugar en el diabético la formación de *cuerpos cetónicos*, sustancias químicas que se encuentran en la sangre y en la orina y que confieren al aliento un olor característico parecido al de la acetona. La *cetosis diabética* por exceso de cuerpos cetónicos, en los casos más graves, provoca un coma diabético que puede conducir a la muerte si no se administra insulina a tiempo. Sin embargo, el coma puede ser también provocado por la presencia de un exceso de insulina en la sangre, ya que cantidades grandes de esta hormona originan hipoglucemia, es decir, una disminución de la concentración de azúcar en la sangre. Si el cerebro permanece largo tiempo en condiciones de privación de azúcar, su principal fuente de energía, se produce un *shock* insulínico, que lleva posteriormente al coma. El *shock* insulínico puede combatirse administrando azúcar por vía oral o inyectando directamente glucosa.

En la mujer embarazada, las necesidades de insulina aumentan considerablemente a causa de los efectos hormonales sobre el metabolismo. El equilibrio entre insulina y azúcar es muy delicado y no sólo el embarazo sino también la mayoría de las situaciones que provocan *stress* pueden perturbarlo. Por este motivo, los médicos, los dentistas y los cirujanos deberían tomar siempre precauciones particulares en el tratamiento de los pacientes diabéticos. Muchas personas que sufren diabetes llevan en su cartera o colgada del cuello una señal que los identifica como diabéticos de manera que, en casos de emergencia, puedan recibir el tratamiento adecuado.

**El futuro** Aún a pesar del diagnóstico precoz, del descubrimiento de la insulina y del método de observar una dieta estricta —todo lo cual representa un gran paso adelante en la curación del diabético— queda todavía una gran cantidad de trabajo por desarrollar en este terreno. Existen, en efecto, muchas complicaciones secundarias que continúan creando problemas a los diabéticos. La ceguera derivada de la diabetes es causada por la degeneración de la retina, el centro nervioso del ojo, como consecuencia de la formación de vasos sanguíneos anormales que gradualmente debilitan la visión con la degeneración y el desprendimiento de la retina. Esta degeneración ocurre también en los tejidos nerviosos y en los pulmones. Muchos pacientes diabéticos sufren también alteraciones en los riñones, en las arterias coronarias y la mayor parte de ellos padece problemas de circulación en las extremidades, sobre todo en las piernas y en los pies. Finalmente, el coma diabético puede ser causado por deshidratación, disminución de la dosis de insulina, embarazo. En él, el signo fundamental es el aspecto deshidratado del paciente (piel y lengua secos, ojos hundidos), el tono muscular es flácido y el rostro se presenta enrojecido. La investigación médica está encaminada sobre todo hacia la actuación sobre las causas primarias de la diabetes, pero la solución permanece aún lejana.

| PROBABILIDADES HEREDITARIAS DE LA DIABETES | |
|---|---|
| padre y madre | 100% |
| padre o madre | 18-20% |
| hermano o hermana | 25-37% |
| hermano o hermana + padre o madre | 50-61% |
| tío o tía | 9-14% |
| sobrinos | 6-9% |
| abuelo o abuela | 11-14% |
| 2 abuelos (maternos o paternos) | 18-22% |
| 2 abuelos (maternos y paternos) | 35-37% |




→ hiperglucemia y glucosuria. En consecuencia, en el interior de las células se observa una escasez de glucosa, de lo cual resulta una disminución en la síntesis de glucógeno y alteraciones en el ciclo de las pentosas y en el ciclo de Krebs. La consecuencia más importante, además de una disminución del balance energético, es una excesiva producción de cuerpos cetónicos con el desarrollo de cetoacidosis y alteraciones morfológicas y funcionales en los riñones y en el aparato cardiovascular. En la tabla se indican las probabilidades de desarrollar la enfermedad en niños nacidos de progenitores diabéticos.

Véase **Glúcidos; Riñón**

# Diagrama de Hertzprung-Russell

El diagrama de Hertzprung-Russell, o diagrama H-R, es un gráfico ampliamente utilizado en Astrofísica que describe la evolución de las estrellas desde su nacimiento, pasando por las distintas —y en algunos casos espectaculares— etapas de su vida hasta su enfriamiento y muerte. Fue confeccionado en los primeros años del siglo XX por el astrónomo danés Hertzprung y el norteamericano Russell, siguiendo líneas de investigación independientes, en un intento de ordenar las estrellas en función de sus características específicas.

**Clasificación de las estrellas** El primer intento conocido de clasificar las estrellas por su brillo fue realizado en el siglo II a. de C. por el astrónomo griego Hiparco. Para ello dividió las estrellas conocidas en seis clases o magnitudes, situando las más brillantes en la magnitud 1ª y las más débiles en la 6ª. Este esquema permaneció casi inalterado hasta que, en 1609, Galileo observó por primera vez el firmamento a través del telescopio. Desde entonces los astrónomos han perfeccionado progresivamente sus instrumentos posibilitando la asignación de valores con gran precisión, y han cuantificado una escala mayor denominada de *magnitudes aparentes*. Esta clasificación se extiende, por un extremo, hasta magnitudes superiores a 20 para incluir miles de estrellas invisibles a simple vista, y por el otro hasta valores inferiores al 1 e incluso negativos para designar a los cuerpos más brillantes. En esta escala pueden incluirse los planetas y el propio Sol que —con un valor de -26,9— posee un brillo 13.000 millones de veces superior al de Sirio, la estrella más brillante que se observa desde la Tierra, y cuya magnitud es -1,6.

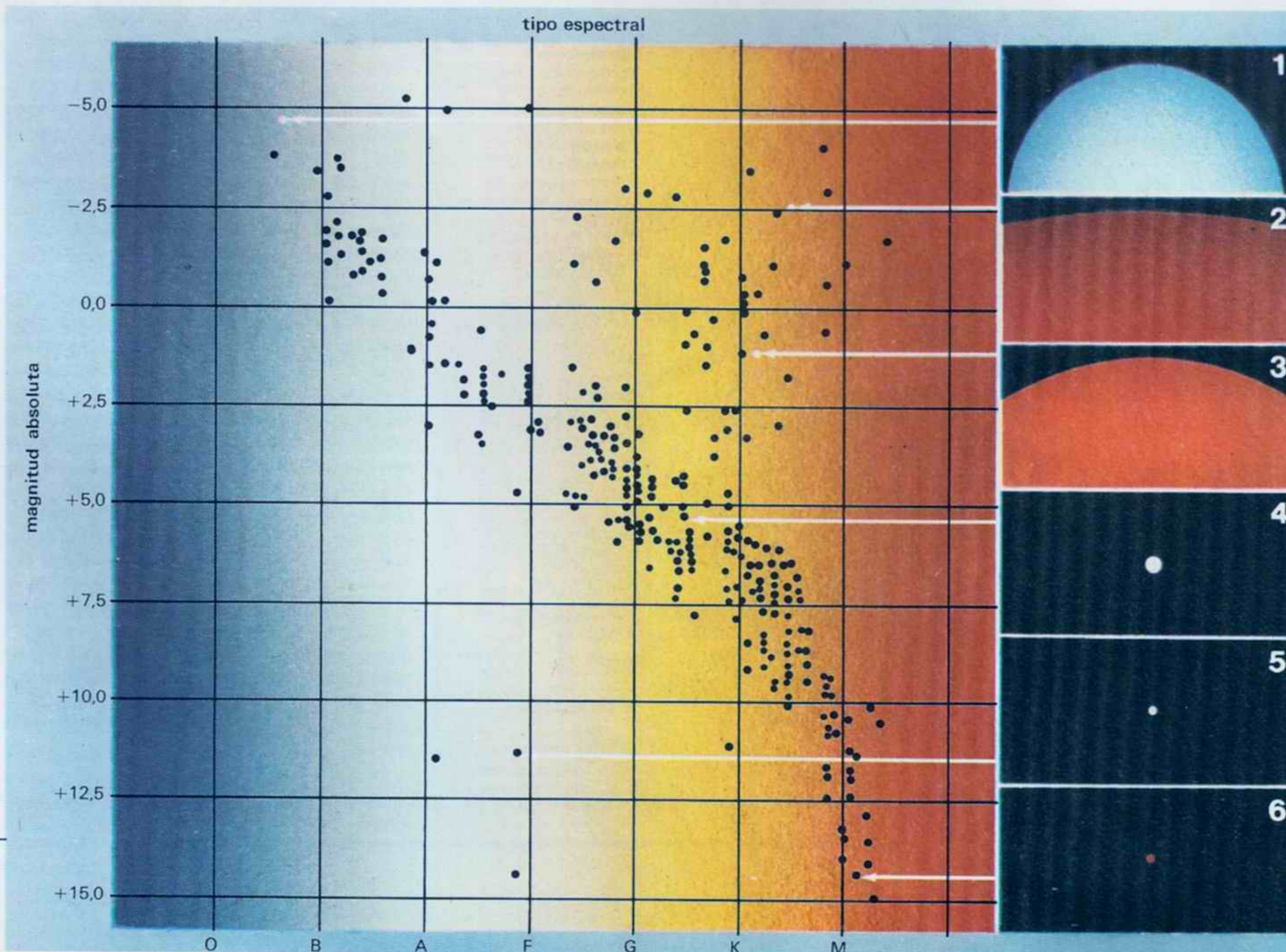
Las magnitudes aparentes representan el brillo de los cuerpos celestes tal y como los observamos, pero aportan poca información respecto al brillo real o a la luminosidad de los mismos.

En la primera mitad del siglo XIX se desarrollaron instrumentos capaces de medir la distancia a que se encontraban las estrellas. Con este dato, fue posible calcular su brillo real a partir de su magnitud aparente, y definir una nueva escala denominada de *magnitudes absolutas*, en la que ha sido corregido el efecto de la distancia. La magnitud absoluta de una estrella representa el brillo que mostraría si se situara a una distancia de 10 parsec (un *parsec* es una unidad astronómica de distancia equivalente a 3,26 años-luz o 30,86 billones de kilómetros). En esta nueva escala de magnitud la del Sol es de 4,9 mientras que la de Sirio es de 1,4.

El desarrollo de la Espectroscopía en la segunda mitad del siglo XIX permitió en 1867 al astrónomo italiano Secchi ordenar las estrellas en función de las características de su espectro de luz. Como el espectro de emisión de un cuerpo depende de su temperatura y composición, y esta última es muy uniforme en la mayoría de las estrellas, es posible determinar, a partir de la estructura de sus líneas espectrales, su temperatura superficial. La clasificación de Secchi fue después ampliada y se compone de siete *clases espectrales* básicas O, B, A, F, G, K y M ordenadas de mayor a menor temperatura, y donde se pueden agrupar todas las estrellas conocidas.

**Posición de una estrella en el diagrama H-R** En el gráfico confeccionado en 1913 por Russell y años antes por Hertz-

Sobre estas líneas, el diagrama H-R. Los puntos negros son estrellas cuya abscisa representa el tipo espectral a que pertenecen, y la ordenada su magnitud absoluta. Los colores del fondo del diagrama se corresponden con la luz emitida por cada estrella, que es función de su temperatura superficial. La mayor parte de las estrellas se concentra sobre una diagonal, formando la secuencia principal. En su parte superior se encuentran las gigantes azules (1), estrellas de elevada temperatura y gran tamaño. En la zona superior derecha del diagrama se acumulan las supergigantes rojas (2) y las gigantes rojas (3), llamadas así por su baja temperatura superficial, que hace que emitan una luz roja, y por su enorme tamaño. Descendiendo por la secuencia principal, el tamaño y la temperatura de las estrellas disminuye y la luz que éstas emiten pasa del azul al blanco y luego al amarillo. La posición (4) representa una estrella de características muy similares a nuestro Sol. A la izquierda y abajo, se encuentran las enanas blancas (5), de elevada temperatura y pequeño tamaño. Al final de la secuencia principal están las enanas rojas (6), de baja temperatura y también de pequeño tamaño.







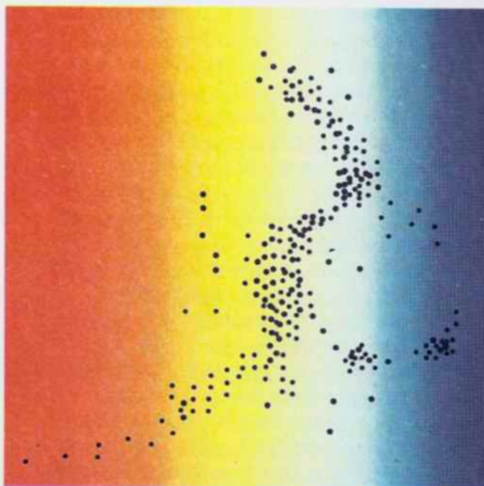


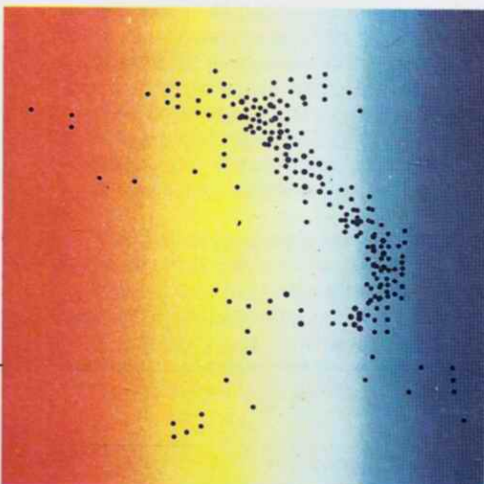
Arriba, las fotografías de tres estrellas que ocupan distintas posiciones en el diagrama de Hertzprung-Russell. A la izquierda, la bella Betelgeuse, una gigante roja. Se trata de una estrella de grandes dimensiones que, si ocupase el lugar del Sol, se extendería por encima de la órbita de la Tierra hasta más allá de la de Marte. Sin embargo, su densidad es muy baja, de forma que su masa es poco mayor que la del Sol. En el centro está Aldebarán, la estrella más luminosa de la constelación de Tauro, que también brilla con luz roja y es una gigante parecida a Betelgeuse. En cambio, a la derecha, está Sirio, estrella azul no gigante de la constelación Can Mayor. Es la estrella que más brilla en todo el firmamento, debido a su relativa cercanía a la Tierra.

prung, la magnitud absoluta está representada en el eje vertical en una escala que se extiende desde la menos brillante, de valor +15, hasta la de mayor brillo, de magnitud -6, situada en la parte superior. Sobre el eje horizontal se ordenan las clases espectrales siguiendo con criterio de temperatura decreciente, comenzando con la clase O que corresponde a la temperatura superficial más elevada en el origen, y terminando con la clase M en el extremo derecho del eje. Cualquier estrella, conocida su magnitud absoluta y su clase espectral, puede representarse en el diagrama H-R. Lejos de repartirse al azar sobre toda la superficie del gráfico, la mayor parte de las estrellas se distribuyen en una delgada franja diagonal que discurre desde el ángulo superior izquierdo al inferior derecho, lo que permite deducir que, para la mayoría de las estrellas, existe una relación casi lineal entre el brillo y la temperatura. Así, cuanto más caliente es su superficie, mayor es su magnitud absoluta y por consiguiente su brillo. Las estrellas que pertenecen a esta franja se dice que forman la *secuencia principal*, y en ellas se agrupan aproximadamente el 99% de las conocidas.

En el ángulo superior derecho del diagrama H-R, se sitúan algunas estrellas cuya temperatura es muy baja y que sin embargo poseen una gran luminosidad. Son las llamadas *gigantes rojas*, cuya elevada luminosidad se debe a su enorme tamaño (pueden tener un diámetro 300 veces superior al del Sol). Todavía existen estrellas más grandes, las *gigantes infrarrojas*, cuyo diámetro llega hasta 2.000 veces el del Sol, pero su temperatura es tan baja que radian principalmente en el infrarrojo, siendo considerablemente más difícil su observación desde la superficie de la Tierra.

Por el contrario, otras estrellas se sitúan en la parte inferior izquierda del diagrama, es decir, poseen una elevada temperatura superficial y una pequeña luminosidad lo que sólo es posible si sus dimensiones son reducidas. Como su luz es blanca, reciben el nombre de *enana blanca*, para distinguirlas de otras estrellas pertenecientes a la secuencia principal de parecido tamaño y luminosidad, pero de inferior temperatura que emiten una luz rojiza, y que se conocen como *enanas rojas*.





Las posiciones en el diagrama de H-R de un grupo de estrellas permiten averiguar el estado actual de su evolución. Arriba, diagrama de un grupo de estrellas jóvenes, ya que no hay gigantes rojas.

**Evolución estelar en un diagrama H-R**

Una estrella se forma a partir de la condensación de una vasta nube de polvo y gas interestelar, fundamentalmente compuesto por hidrógeno. Cuando este proceso llega a un cierto punto en el que comienza la fusión nuclear del hidrógeno, la estrella se sitúa en la secuencia principal, y en ella permanecerá casi sin alteración durante la mayor parte de su vida, en una posición que depende de su masa. El Sol lleva en la secuencia principal aproximadamente 5.000 millones de años, y se calcula que al ritmo actual de consumo de hidrógeno permanecerá todavía durante 8.000 millones más. Cuando las reservas de hidrógeno alcanzan un nivel crítico, la estrella abandona la secuencia principal, se dilata y se enfría, por lo que se desplaza hacia la parte superior derecha del diagrama y se convierte en una gigante roja. En esta nueva fase la estrella permanece poco tiempo, comienza a contraerse y a calentarse atravesando rápidamente la secuencia principal y dirigiéndose hacia la parte inferior izquierda del diagrama. Pero esa transición hacia la región de las enanas blancas puede no estar exenta de los paroxismos finales que en algunos casos preceden a la extinción de una estrella.

La posición de una estrella o de un cúmulo estelar en el diagrama H-R aporta una considerable y valiosa información sobre el estado actual de la estrella, los procesos que están teniendo lugar, y la evolución previsible de los mismos. Para la Astrofísica, el diagrama H-R ha sido, y es, un valioso auxiliar para profundizar en nuestro conocimiento del Universo en que estamos inmersos.

Véase **Astronomía; Astrofísica; Cúmulos estelares; Espectrofotómetro; Espectroscopía**

# Diálisis

Si tomamos un saquito de pergamino, lo llenamos con una disolución de azúcar y lo introducimos en un contenedor repleto de agua, podremos observar el proceso de la diálisis: las moléculas de azúcar se filtrarán a través del saquito y llegarán al agua.

La diálisis fue descubierta por Thomas Graham en 1861 y es un proceso selectivo; la membrana utilizada se selecciona específicamente para filtrar determinadas sustancias. Los materiales utilizados como membranas pueden ser pergamino animal o vegetal, vejigas de peces o celofanes especiales (membranas sintéticas); utilizando membranas de porosidad determinada, que pueden ser atravesadas por partículas de tamaño menor que el del poro, es posible separar diversas sustancias según su peso molecular. Diálisis es un término químico que se utiliza para describir el paso de un soluto (la sustancia que está disuelta en una disolución) a través de una membrana, y cuyo resultado es la separación de los distintos compuestos contenidos en la solución. Su empleo más conocido es el de la hemodiálisis, que tiene por objeto purificar la sangre cuando los riñones dejan de funcionar.

**Uso de la hemodiálisis** Los dos riñones forman parte de nuestro aparato excretor y producen cerca de 30 gotas (2 cc) de orina por minuto. Cada riñón está compuesto por aproximadamente un millón de filtros denominados *nefronas*. Una nefrona está constituida por delgados vasos sanguíneos que se agrupan formando el llamado *glomérulo renal*, y por un sistema de canales denominados *túbulos renales*. La sangre bombeada por el corazón atraviesa los riñones: en estos órganos se filtra la sangre y las sustancias de desecho son eliminadas a través de los uréteres y de la vejiga. Los riñones tienen también otra función, la regulación del contenido hídrico y salino del organismo.

La purificación de la sangre mediante la diálisis con el "riñón artificial" ha salvado la vida de muchas personas en las que la función renal estaba disminuida o había sido totalmente perdida. En este proceso se hace circular a la sangre por una máquina, a un lado de una membrana filtradora destinada a eliminar las sustancias residuales y de desecho, mientras que el líquido de diálisis circula por el otro lado de la membrana. Esta solución, que debe tener una composición muy similar a la de la sangre, absorbe sustancias como la urea y la creatinina, productos de desecho del metabolismo.




La diálisis es un método insustituible para el tratamiento de los pacientes que sufren una disminución o una total disfunción del aparato renal. Los riñones filtran la sangre y eliminan los productos de desecho concentrándolos en la orina. La finalidad de la máquina es sustituir la función de los riñones. Extrae sangre arterial y la introduce ya purificada en una vena. En la fotografía de la izquierda observamos una máquina para diálisis fácil de transportar y adaptable tanto para uso hospitalario como para uso doméstico. En la otra página, esquema de funcionamiento de la misma máquina. Se pueden apreciar el filtro calentador y el regulador para la presión de desgasificación, el desgasificador y el regulador de presión del producto dializado controlado por un monitor. El control utiliza circuitos electrónicos y está construido de manera que se mantengan separadas las estructuras de proceso y las de control.

En el proceso de purificación la sangre circula directamente desde la arteria del paciente a los tubos de la máquina y después desde los tubos a una vena del enfermo. Una bomba proporciona la fuerza necesaria para mover la sangre, mientras que una segunda bomba hace circular el líquido de diálisis.

La presencia en esta solución de diálisis de algunos componentes iguales a los contenidos en la sangre es indispensable para el organismo, y evita que se eliminen como residuos ciertas sustancias cuya presencia es necesaria.

Las máquinas utilizadas para diálisis están construidas de modo que puedan ser aprovechadas grandes superficies que permitan un adecuado intercambio entre la solución purificadora y la sangre. En estos aparatos la sangre circula en capas lo suficientemente delgadas como para mantener un contacto máximo con la membrana. Las diferencias en las concentraciones de los componentes del líquido de diálisis y la sangre son mantenidas constantemente bajo control con el fin de no superar los máximos valores aceptables; para conseguirlo, la solución dializadora es renovada con frecuencia. Por otra parte, el flujo de sangre es continuamente controlado para evitar irregularidades que podrían provocar la formación de coágulos. A menudo es necesario el uso de anticoagulantes para la diálisis con riñón artificial. Para realizar una diálisis completa se necesitan cerca de seis horas y debe repetirse la sesión a intervalos de tiempo establecidos según los resultados de análisis periódicos de sangre.

**Tipos de máquinas para la diálisis** Se han diseñado multitud de tipos de máquinas dializadoras con la intención de obtener una máquina que sea simple y lo más eficaz posible:

## ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA MAQUINA DE DIALISIS

paciente
válvula solenoide alimentación *by-pass*
al dializador
del dializador
entrada
extractor de muestras
desgasificador
control de flujo
depósito
Venturi
presión venosa
regulador de presión dializado
regulador de la presión de desgasificación
conducímetro
interruptor de la presión del agua
filtro calentador intercambiador de calor
válvula solenoide de entrada de agua
monitor de presión dializado
sonda para temperatura alta y baja
detector de pérdidas hemáticas
bomba de desgasificación
sonda compensadora de la temperatura de conductividad
bomba a presión
unión al desagüe
regulador de presión
bomba adaptadora
drenaje
válvula
concentrado
entrada de agua

1) *Tambor rodante*: este aparato está constituido por un tubo de celofán que se arrolla en torno a un tambor de malla de hilo. Cuando se hace girar al tambor, la sangre se mueve a lo largo del tubo. Este método proporciona un adecuado contacto de superficie, sin embargo el tubo se deforma bajo la presión y debe ser llenado con gran cantidad de sangre antes del inicio de la filtración.

2) *Aparato "sandwich"*: este método utiliza un saquito aplanado de celofán situado entre dos láminas de plástico. Proporciona una excelente superficie de contacto, pero su forma puede provocar la formación de coágulos, especialmente en los ángulos del saquito. Por ese motivo, con frecuencia se utilizan anticoagulantes en grandes cantidades, con el consiguiente peligro de hemorragias.

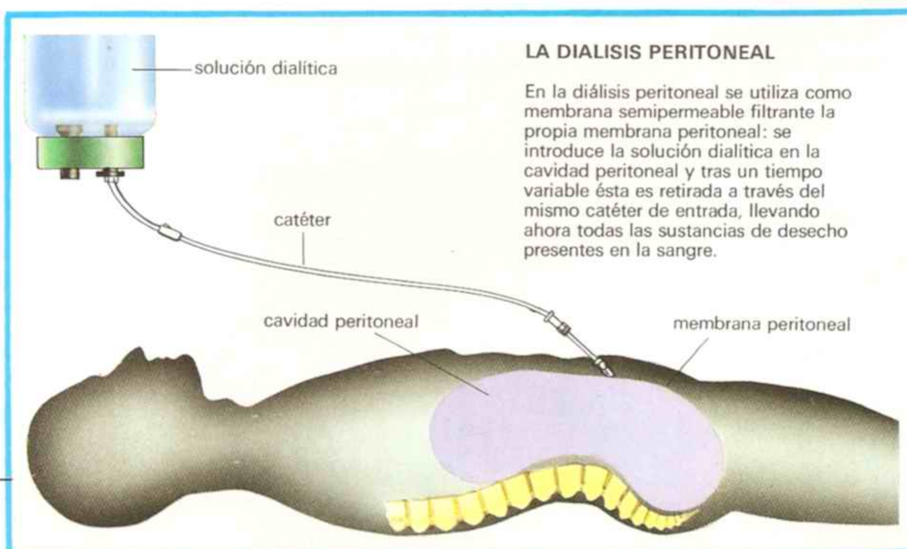
3) *Método de Alwall*: el tubo actúa de membrana. Se arrolla en torno a un tambor de malla de hilo, el cual posteriormente se hace girar en un contenedor de líquido purificador; este método es óptimo para la ultrafiltración, una purificación acelerada.

4) *Método de Moeller*: el aparato consiste en un cilindro de plástico acanalado y colocado en el interior de otro cilindro también acanalado. El tubo, por donde fluye la sangre, transcurre entre el cilindro interno y el externo, y se mantiene fijo en la acanaladura. El líquido purificador se hace circular en sentido contrario al flujo sanguíneo. También este método es válido para la ultrafiltración.

5) *Doble arrollamiento*: en este tipo de aparatos la membrana es también un tubo, pero se trata de un tubo ancho y aplanado, que se arrolla en torno a un ánima hueca y se monta en el interior de un contenedor que permite la libre circulación del agente purificador.

A pesar de que el riñón artificial ideal está todavía por inventar, la diálisis permite a los pacientes llevar una vida relativamente normal. Este procedimiento es particularmente útil en los casos en los que el daño originado en los riñones puede ser recuperado: el riñón artificial sustituye al riñón enfermo durante el período de tratamiento y hasta el momento de la curación.

Véase **Riñón**




**LA DIALISIS PERITONEAL**

En la diálisis peritoneal se utiliza como membrana semipermeable filtrante la propia membrana peritoneal: se introduce la solución dialítica en la cavidad peritoneal y tras un tiempo variable ésta es retirada a través del mismo catéter de entrada, llevando ahora todas las sustancias de desecho presentes en la sangre.

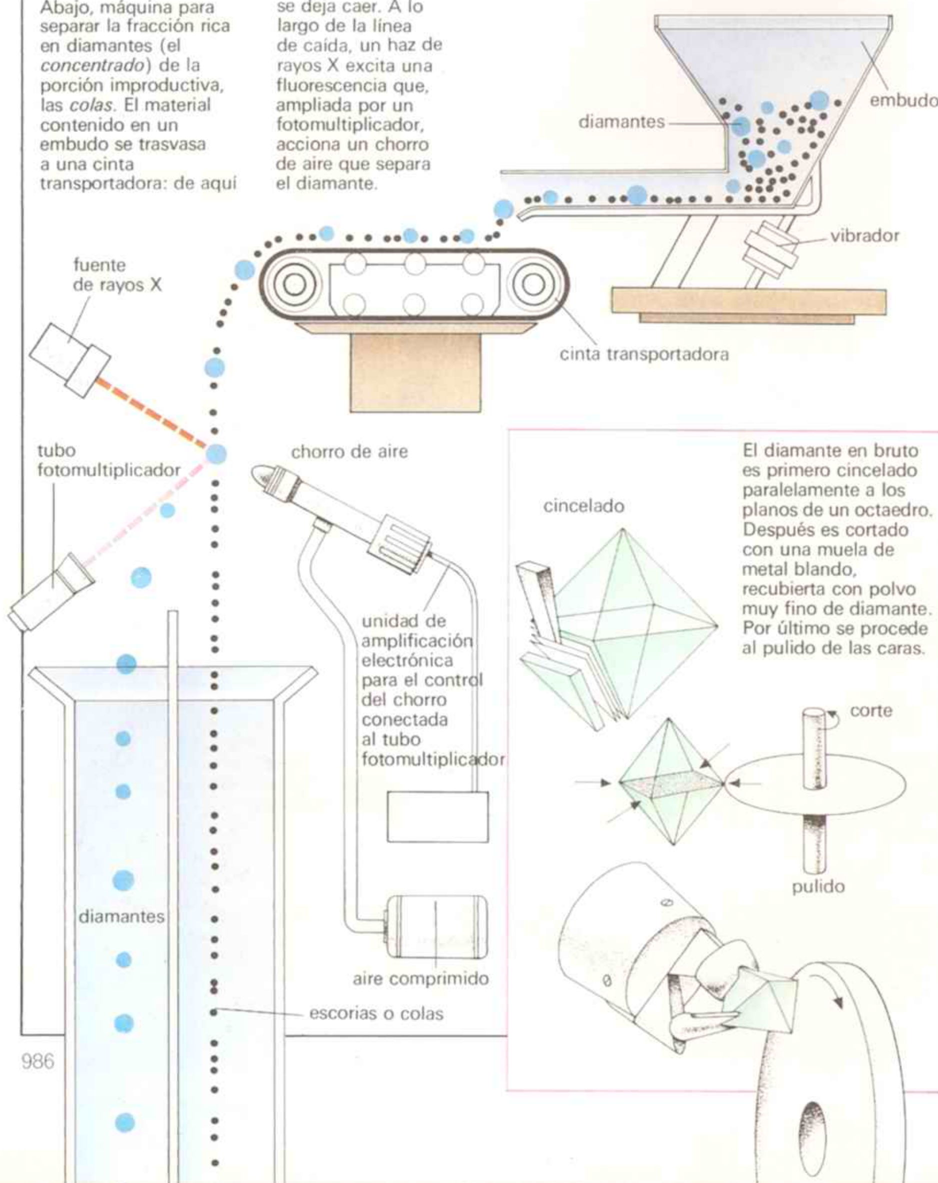
# Diamante

Los diamantes se forman en una roca ígnea de color gris azulado llamada *kimberlita*, a una profundidad de al menos 120 kilómetros bajo la superficie terrestre y en unas condiciones de presión y temperatura extremadamente elevadas. La kimberlita asciende a la superficie a través de chimeneas y fisuras volcánicas, de forma que los diamantes se extraen de la kimberlita de las chimeneas volcánicas y de los depósitos aluviales de materiales arrastrados por las corrientes de agua. Los diamantes fueron descubiertos y extraídos por primera vez hace unos dos mil años en la India y Borneo. La India mantuvo el monopolio sobre los diamantes hasta el siglo XVIII en que fueron descubiertos los campos diamantíferos brasileños. En 1866 se hallaron los ricos yacimientos de Sudáfrica que actualmente es, junto con la Unión Soviética, el mayor productor de diamantes.



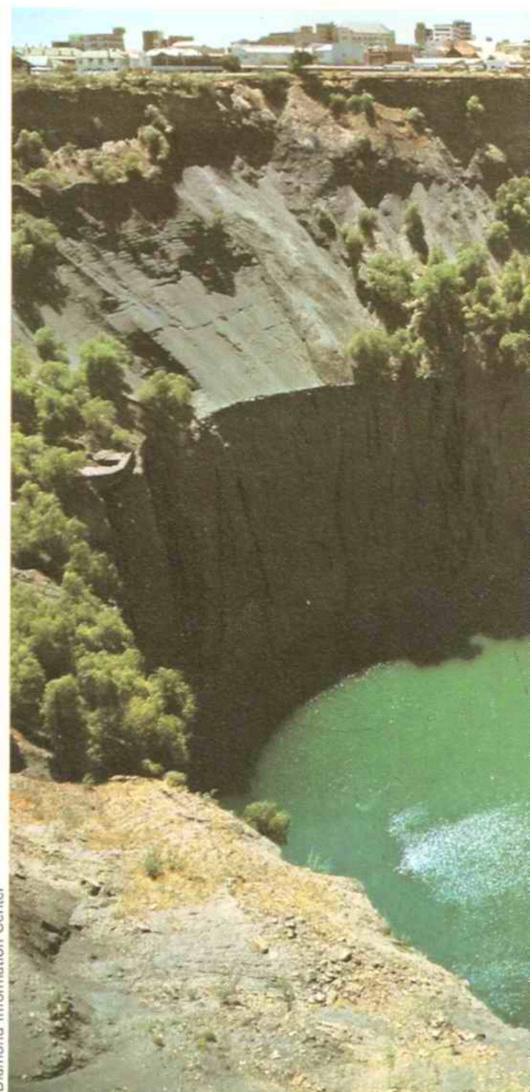
Los diamantes están constituidos íntegramente por carbono, el mismo elemento del cual están formados el carbón vegetal y el grafito de los lápices. La diferencia estriba en que en los diamantes los átomos de carbono están enlazados de tal manera que dan lugar a una estructura cristalina de una belleza característica. En la estructura cristalina de los diamantes, cada átomo de carbono está ligado con otros cuatro átomos de carbono situados a igual distancia. Los enlaces entre átomos de carbono son covalentes, es decir, comparten un par de electrones. Por el contrario, el grafito, constituido también por átomos de carbono formando una red cristalina, consta de capas planas de átomos enlazados entre sí que pueden ser fácilmente desplazados. Esto hace que el grafito sea uno de los materiales más blandos que se conoce, por eso es un buen lubricante, mientras que el diamante es abrasivo. La mayor parte de los diamantes utilizados como gemas son transparentes e incoloros, aunque algunos tienen un ligero matiz de color. El amarillo es el más común, pero también se encuentran gemas verdes, rojas, violetas y azules. Los diamantes de coloración oscura son utilizados en la industria. El *bort* de color gris y el *carbonado* de color negro, ambos diamantes industriales, deben su color a las impurezas (trozos de otros minerales) en el interior de la piedra. La estructura de los cristales de los diamantes industriales presenta a menudo fisuras. Estos diamantes oscuros son muy utilizados en el corte y en la elaboración de los metales, de piedras, de vidrio e incluso de otros diamantes —una rueda metálica tratada con polvo de diamante se emplea para pulir las caras de brillantes utilizados en joyería. También las agujas de los tocadiscos, los tornos usados en odontología y las puntas de las sondas empleadas en los pozos petrolíferos utilizan puntas de diamante negro, debido a su gran dureza.

**Diamantes sintéticos** El primero en producir diamantes sintéticos fue el químico escocés James Hannay. Hacia finales del siglo XIX, Hannay puso al rojo una mezcla de parafina (sustancia con aspec-

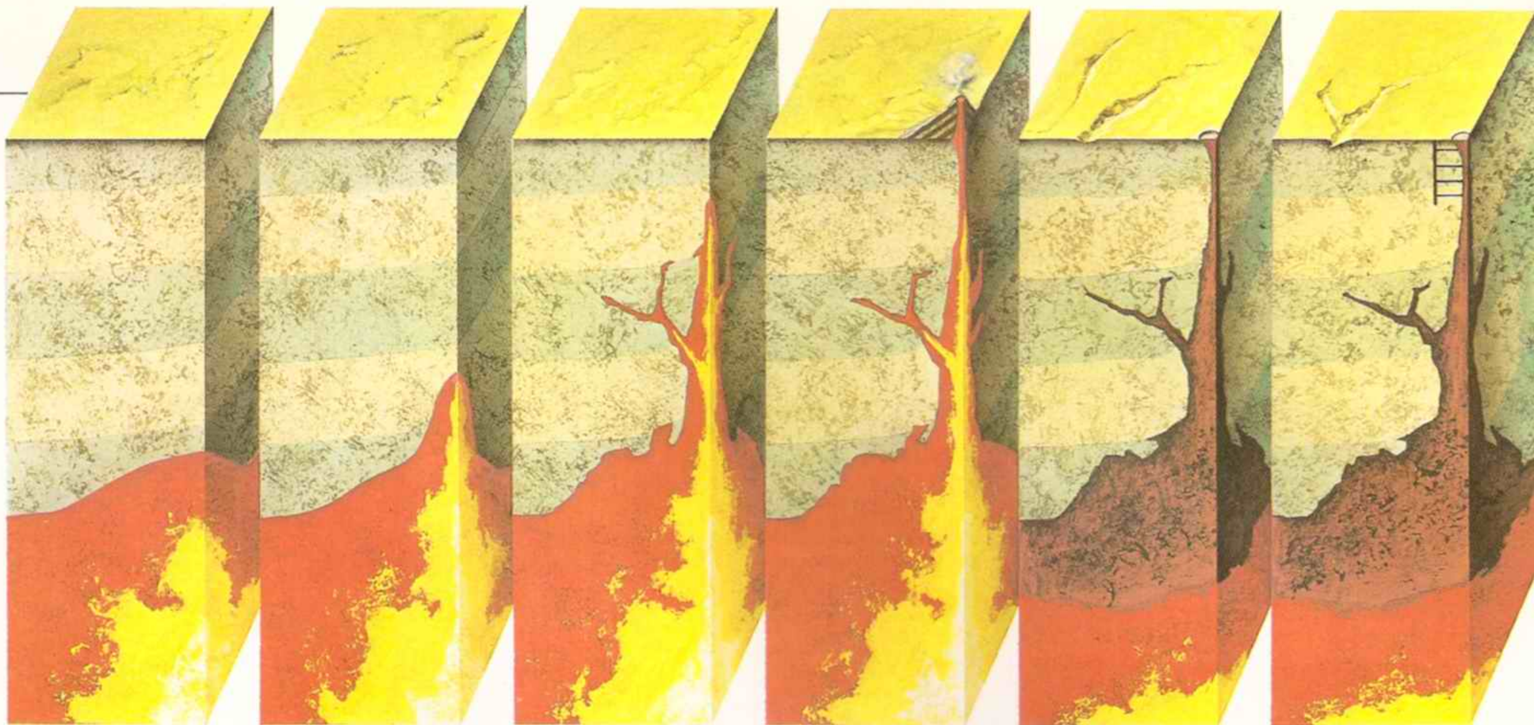



Abajo, máquina para separar la fracción rica en diamantes (el *concentrado*) de la porción improductiva, las *colas*. El material contenido en un embudo se trasvasa a una cinta transportadora: de aquí se deja caer. A lo largo de la línea de caída, un haz de rayos X excita una fluorescencia que, ampliada por un fotomultiplicador, acciona un chorro de aire que separa el diamante.

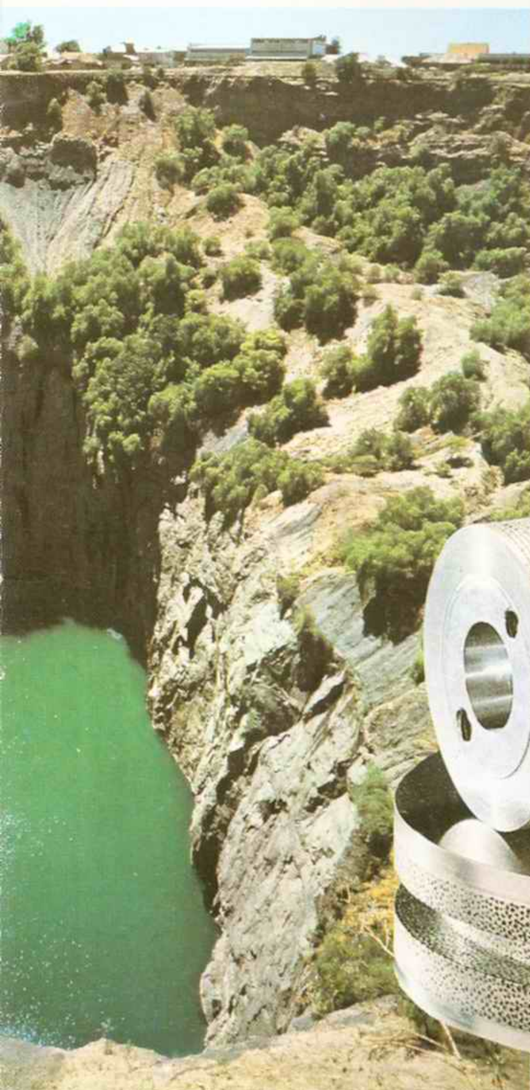
El diamante en bruto es primero cincelado paralelamente a los planos de un octaedro. Después es cortado con una muela de metal blando, recubierta con polvo muy fino de diamante. Por último se procede al pulido de las caras.



Diamond Information Center



Historia de la formación del diamante en el embudo diamantífero, el camino que la lava ha abierto en su salida hacia la superficie, donde han tenido lugar erupciones superficiales. La fuerte presión hidrostática que reinaba durante la subida de la lava y que seguía manteniéndose a medida que ésta iba lentamente solidificándose ha comprimido con fuerza el carbono segregado por la masa fluida, que de este modo se ha convertido en ese diamante tan buscado actualmente con extensas redes de pozos verticales y horizontales (a la derecha). En la página anterior, arriba, diamantes industriales en bruto.



to de cera formada por hidrocarburos), litio y un aceite obtenido a partir de huesos, en el interior de tubos de hierro forjado. Mediante este procedimiento se obtuvieron pequeños cristales de diamante. A partir de los años cuarenta se estudiaron en Estados Unidos métodos de síntesis de diamantes a partir de grafito sometido a grandes presiones y a altas temperaturas. En 1955 el empleo de una presión de aproximadamente 105.000 atmósferas y una temperatura de 2.760 °C resultó suficiente para que los investigadores de la General Electric sintetizaran diamantes de tipo industrial a partir del grafito. Desde entonces, los diamantes de tipo industrial han sido producidos a gran escala. En 1970, Herbert M. Strong y Robert Wentorf, consiguieron producir diamantes sintéticos con una calidad igual a la de las gemas. Disolvieron polvo de diamante sintético en metal fundido a presión y temperatura muy elevadas. Los átomos de carbono comenzaron a cristalizarse sobre pequeños cristales de diamantes que actuaban como "núcleos" formando de esta manera pequeños diamantes de un kilate (0,2 g).

Actualmente las minas de diamantes de la India están en gran parte agotadas. Las minas de Sudáfrica, que dieron origen a una época de gran desarrollo económico cuando los diamantes fueron descubiertos en 1867, tienen aún un elevado grado de productividad, lo mismo ocurre en algunas minas de más reciente descubrimiento en Ghana, en Sierra Leona y en la URSS (donde los diamantes fueron descubiertos en 1955). Se ha calculado que a lo largo de dos mil años tan sólo se han extraído del orden de unas 230 toneladas de diamantes en todo el mundo, para lo cual ha sido necesario mover más de 5.000 millones de toneladas de roca, arena y grava.

Véase **Cristales y cristalografía**



A la izquierda, el embudo diamantífero de Kimberley (Sudáfrica). Abajo, rodillos diamantados y, a la derecha, las gemas que se obtienen de los ejemplares más puros.

Diatec



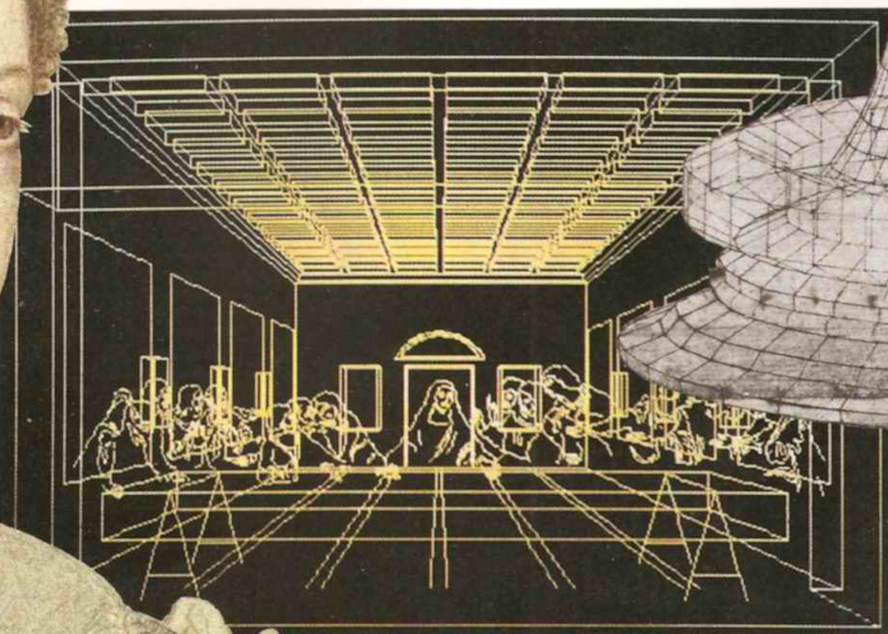
# Dibujo

Los márgenes de cualquier viejo cuaderno escolar están con toda probabilidad llenos de dibujos "fantásticos", y aunque se califiquen como simples garabatos y fueran trazados en momentos de aburrimiento o incitados por la fantasía, esos dibujos se realizan según los mismos principios que regulan el dibujo profesional.

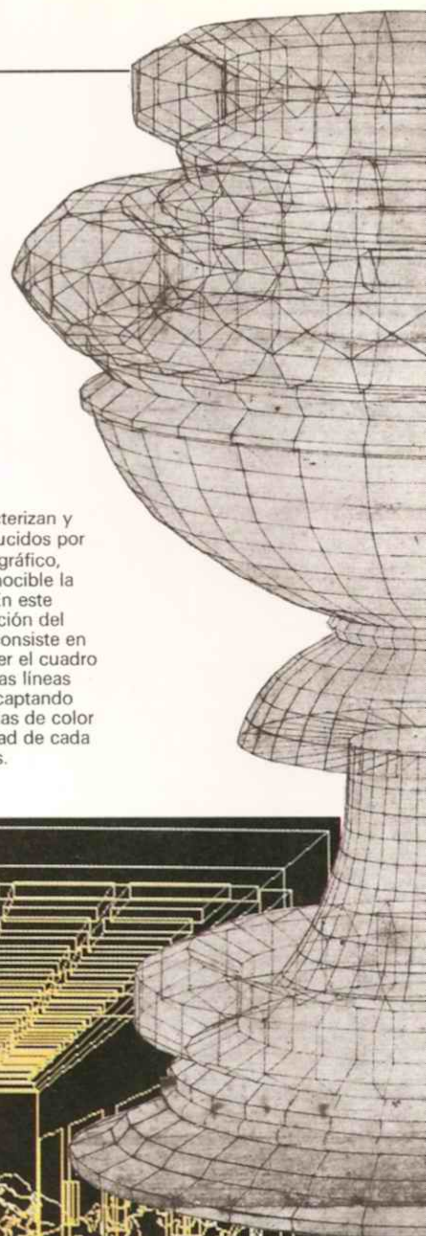
Incluso el bosquejo más sencillo está compuesto, en todo caso, por líneas, que son la base de cualquier dibujo, que poseen ritmo, tensión, equilibrio y unidad, y ponen en evidencia relaciones entre los diversos elementos interesados, sea en cuanto respecta a la posición recíproca, sea por sus dimensiones y proporciones. Esas figuras, garabateadas a mano alzada, podrían ser esquemas preliminares destinados a transformarse en una escultura, en una obra arquitectónica, en un cuadro, o ser simplemente bocetos para la publicidad o prediseños de una pieza.

Casi todos los dibujos tienen una finalidad práctica, cuando no estética. El fin práctico puede ser el de estar destinados a la elaboración de un prototipo, o ser los dibujos básicos previos a la producción, a la construcción o a la impresión, en el caso del dibujo publicitario. El fin estético se pone de manifiesto cuando se persigue ante todo que la representación posea belleza, con independencia de la relatividad de este concepto.

**Principios del dibujo** Las diversas líneas que forman un dibujo pueden tener características visuales diferentes. En



De una reproducción en papel de la *Ultima Cena* de Leonardo de Vinci, el ordenador ha extraído los elementos que la caracterizan y que, reproducidos por su terminal gráfico, hacen reconocible la gran obra. En este caso, la función del ordenador consiste en descomponer el cuadro en numerosas líneas de puntos, captando las diferencias de color y de densidad de cada uno de ellos.



A la izquierda, retrato de María Estuardo, de V. Jean Decourt. Se trata originalmente de una obra a trazos, en blanco y negro, pero el uso del medio gráfico ha permitido reproducir medias tintas, añadiendo así a la esencialidad del dibujo la corporeidad de la figura. Para realizar una obra de este género es necesario dominar la percepción de las relaciones de tamaño de las varias partes de la figura, lo que no excluye que se deba dominar también el medio expresivo.

A la derecha, el interior de la Iglesia Grande de Alkmaar, obra de Pieter Janz Saenredam. En este caso se trata de un dibujo en el que todo está reducido a lo esencial porque el sujeto representado es pura geometría. Un dibujo de este tipo sería imposible sin un dominio absoluto de las leyes de la perspectiva. Sin dominar esas leyes sería imposible reproducir fielmente todas las formas de esta estructura. La perspectiva científica se inició con el Renacimiento italiano.

efecto, las hay duras, gruesas y pesadas, o bien ligeras y delgadas. La atención que se les dedica con la elección de todos estos adjetivos podría llevar a atribuir a las líneas un peso y un énfasis quizás excesivos. En realidad, es la combinación de las líneas y el modo en que la relación entre las formas se plasma en el espacio lo que hace que un dibujo se convierta en instrumento eficaz de comunicación.

Los diseñadores profesionales, durante el proceso de diseño, se sirven del dibujo para realizar experimentos con la luz y con la sombra, pretendiendo con ello contribuir a facilitar la fase de ejecución. Un diseñador industrial que tenga que diseñar, por ejemplo, un electrodoméstico, se ocupará inicialmente en sus dibujos de las posibles formas y estructuras, prescindiendo al principio de los aspectos más típicamente mecánicos del producto. Estos dibujos constituyen una serie de hipótesis de trabajo que sugieren posibles configuraciones mecánicas a los ingenieros, que deben hacer posible que el objeto llegue a ser un aparato que funcione y sea utilizable.

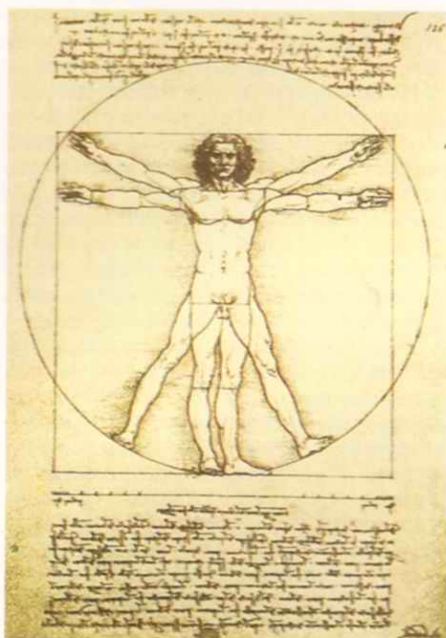
Todos los dibujos se realizan sobre un plano, siendo por consiguiente de dos dimensiones, pero pueden representarse también objetos de tres dimensiones. Por poner un ejemplo, un diseñador experto puede realizar el dibujo de un automóvil utilizando una técnica tal que consiga dar al observador una imagen análoga a la que le proporcionaría un automóvil verdadero. La profundidad en el espacio se sugiere con la fuerza de los trazos (su dirección y grosor) y con la posición de la visual sobre el plano (perspectiva).

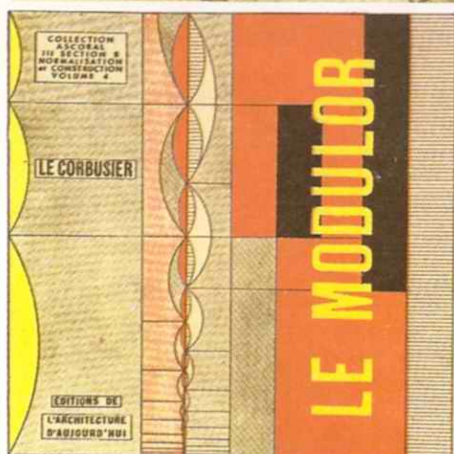
Algunos dibujos son simplemente bosquejos. Los dibujos a lápiz suelen sombrearse para resaltar las relaciones entre luces y sombras, típicas de un objeto tridimensional, mientras los dibujos a pluma utilizan dos técnicas diferentes llamadas *trazos* y *sombreado*, consistente ésta en conseguir el efecto de difuminado jugando con la distancia entre líneas paralelas y finas o con la mayor o menor densidad de puntos.

**Materiales para el dibujo** Los dibujos pueden hacerse sobre papel con tinta, a



A la izquierda, cáliz dibujado por Paolo Uccello. En este caso la forma ha sido tomada en consideración sólo desde el punto de vista geométrico y dibujada como hacen hoy los sistemas gráficos de los ordenadores. Uccello la realizó hace 500 años.






lápiz, con carboncillo, con lápices o tizas de colores, o con plumas estilográficas técnicas de entintado continuo.

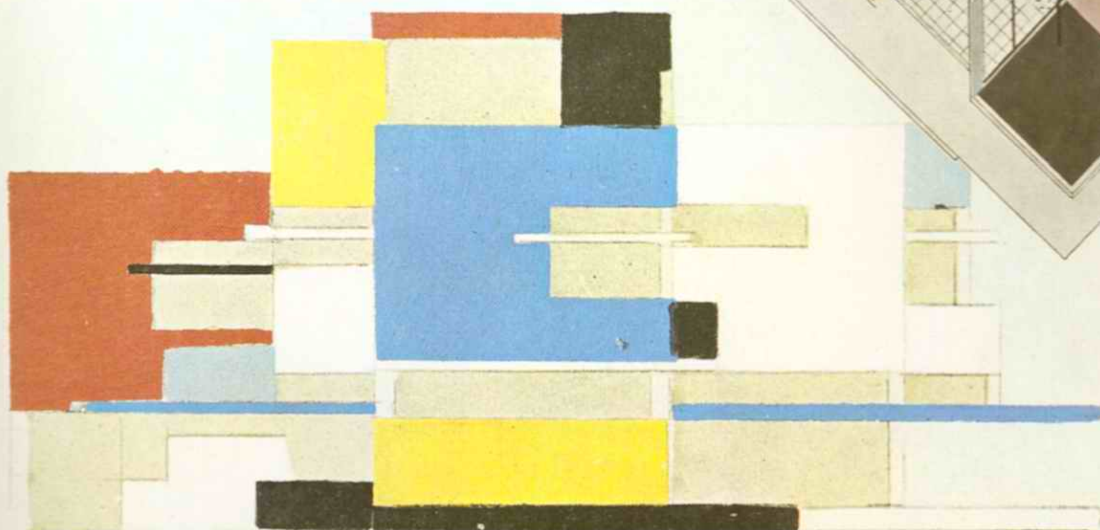
Los arquitectos suelen trazar sus croquis sobre un papel delgado, traslúcido, de buena calidad, de forma que resulte visible por superposición. De esta manera es posible añadir o quitar, en una imagen compuesta de muchas capas, partes aisladas de un dibujo relativas a secciones o funciones independientes.

Carboncillo y tiza son los dos materiales más antiguos conocidos por el hombre. El hombre primitivo los mezclaba con pigmentos naturales extraídos de plantas, sirviéndose de ellos para decorar sus cavernas. Los colores del carboncillo van del gris claro al negro y son más idóneos para trazar bocetos de grandes dimensiones que para dibujos de detalle. Es un material que se borra y difumina fácilmente, de ahí que, para impedir que los dibujos a carboncillo lleguen a hacerse irreconocibles, una vez terminados se les rocíe con un líquido fijador. En cualquier caso, el carboncillo es ideal para dibujar rápidamente bocetos que requieren trazos gruesos y suaves.

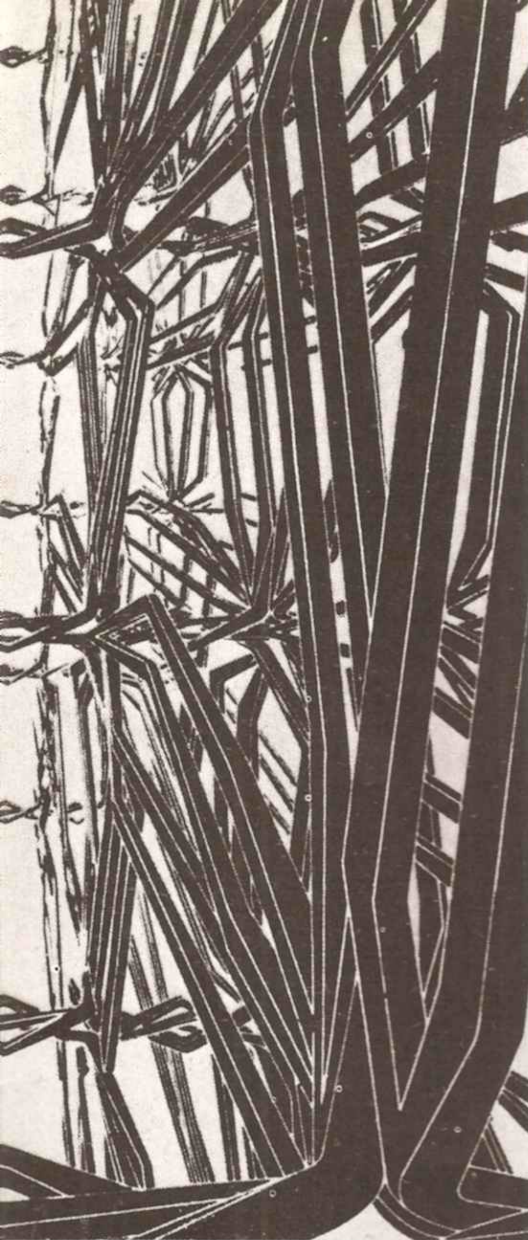
En arquitectura, los dibujos iniciales se realizan exclusivamente a lápiz. Sin embargo, la existencia de lápices de diferen-

En tanto con el dibujo se ha pretendido y se pretende representar la Naturaleza, la búsqueda del sustrato geométrico de su contenido se ha dirigido a la finalidad de interpretar mejor las formas, como sucede por ejemplo con el *Hombre* de Leonardo. Pero cuando llega a ser proyecto (a la izquierda, Le Corbussier), el módulo en el que se inserta la figura nace antes que ésta.



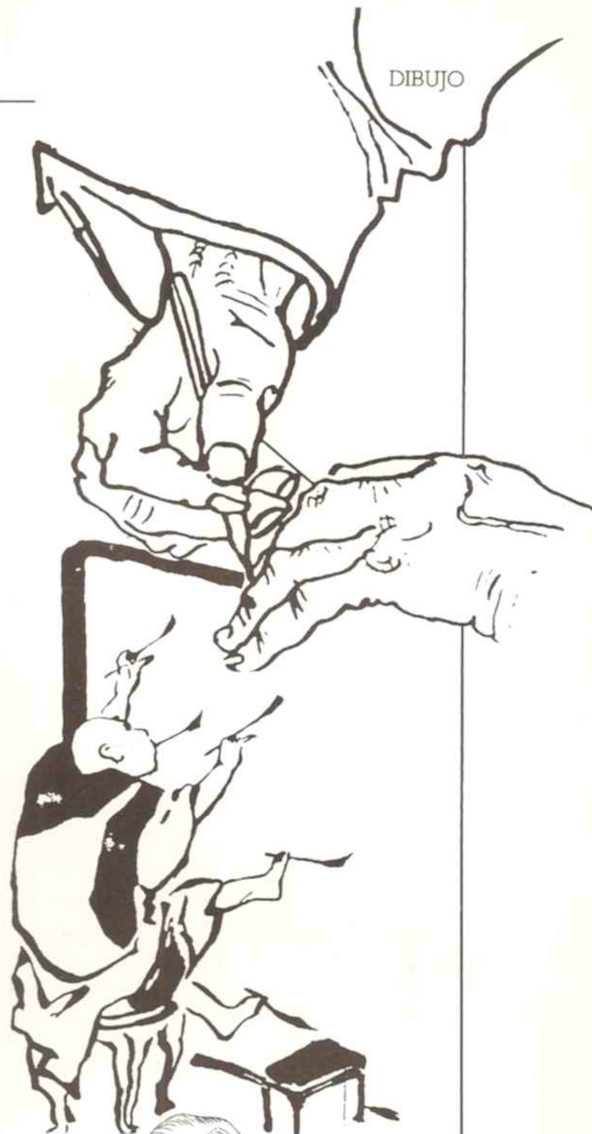


A la izquierda, estudio de color para una construcción arquitectónica de 1922, de Theo van Boesburg. Arriba, *Villa-estudio para un artista*, de Gino Pollini y Luigi Figini (1933). En el centro, espacio arquitectónico fantástico. A la derecha, dibujo de un rótulo y dos dibujos modernos en comparación con la técnica estática de los dibujos orientales; abajo, retrato de *Igor Strawinsky*, de Picasso.



te dureza y coloración permite ejecutar en forma sencilla con este medio trabajos que tienen cualidades gráficas muy diversas, pudiendo representar materiales distintos en condiciones variadas de iluminación. Estos dibujos son realizados, en buena parte, a escala (una representación más pequeña que la estructura real pero que respeta sus proporciones), tratándose generalmente de dibujos preliminares, que raramente se utilizan después en el momento de la construcción. Si quisiéramos establecer un parangón con el campo literario, se podría decir que tales dibujos corresponden a la primera redacción de un texto, esto es, constituyen una fase de estudio hacia la consecución de determinados objetivos requeridos por el dibujo.

Dado que gran parte de los dibujos quedan en poder del artista, rara vez se tendrá la posibilidad de contemplarlos. En la colección de dibujos del Museo de Arte Moderno de Nueva York, hay, sin embargo, series completas de dibujos de algunos de los más famosos arquitectos y diseñadores industriales del mundo. Muchos, hechos sobre servilletas de papel, al dorso de sobres usados o en trozos cualesquiera de papel, tienen la belleza de lo provisional, de lo inacabado.



Véase **Dibujo técnico**

BENZ

1909



# Dibujo técnico

Levantando la mirada hacia un rascacielos, nos resulta casi imposible creer que la maciza estructura que tenemos delante haya existido en un momento del pasado solamente como un destello en la fantasía de un proyectista. El primer paso en el proceso para la realización práctica de muchas creaciones de la mente, ya se trate de un rascacielos o de una máquina compleja, de un laboratorio de investigación o de un vehículo, requiere siempre plantearse algunas preguntas fundamentales, que en el caso de un edificio podrían ser éstas: ¿A qué función se destina el edificio? ¿Quién deberá habitarlo o trabajar allí? ¿A qué factor debe darse prioridad, al económico, al de duración o al estético? Dar respuesta acertada a interrogantes de ese género constituye la primera tarea del proyectista, pues todo proyecto debe ser una adecuada respuesta a exigencias bien definidas, donde cada elemento es una parte indispensable e interdependiente de un todo tecnológico, concebido de acuerdo a unas determinadas limitaciones económicas.

Concebido el proyecto de forma global, hay que proceder al análisis detallado de cada uno de los elementos, procediendo a representarlos gráficamente. En esta fase se recurre al dibujo.

**Cómo se hacen los dibujos** El dibujo técnico se basa en un conjunto de convencionalismos gráficos codificados que permiten traducir los conceptos de los proyectistas a formas gráficas comprensibles para todos aquéllos que colaboran en el proceso de creación técnica o de realización a pie de obra. Es una forma de ilustración diferente de las representaciones artísticas figurativas, un modo de dibujar utilizado por quienes intervienen en el trabajo, el cual constituye más un lenguaje universal que una forma de expresión personal. Hay que subrayar sin embargo que el mismo dibujo técnico, y sobre todo la primera fase de su realización, o sea, la ejecución de bocetos y dibujos, son a menudo verdaderas obras de arte.

A quien realiza el dibujo técnico se le denomina comúnmente *dibujante proyectista*, que puede ser un arquitecto, un ingeniero o un proyectista industrial, o bien un artesano experto que, para la creación de una estructura o de un objeto, realiza bocetos y cálculos matemáticos para reproducirlo después sobre impresión hasta en sus más mínimos detalles.

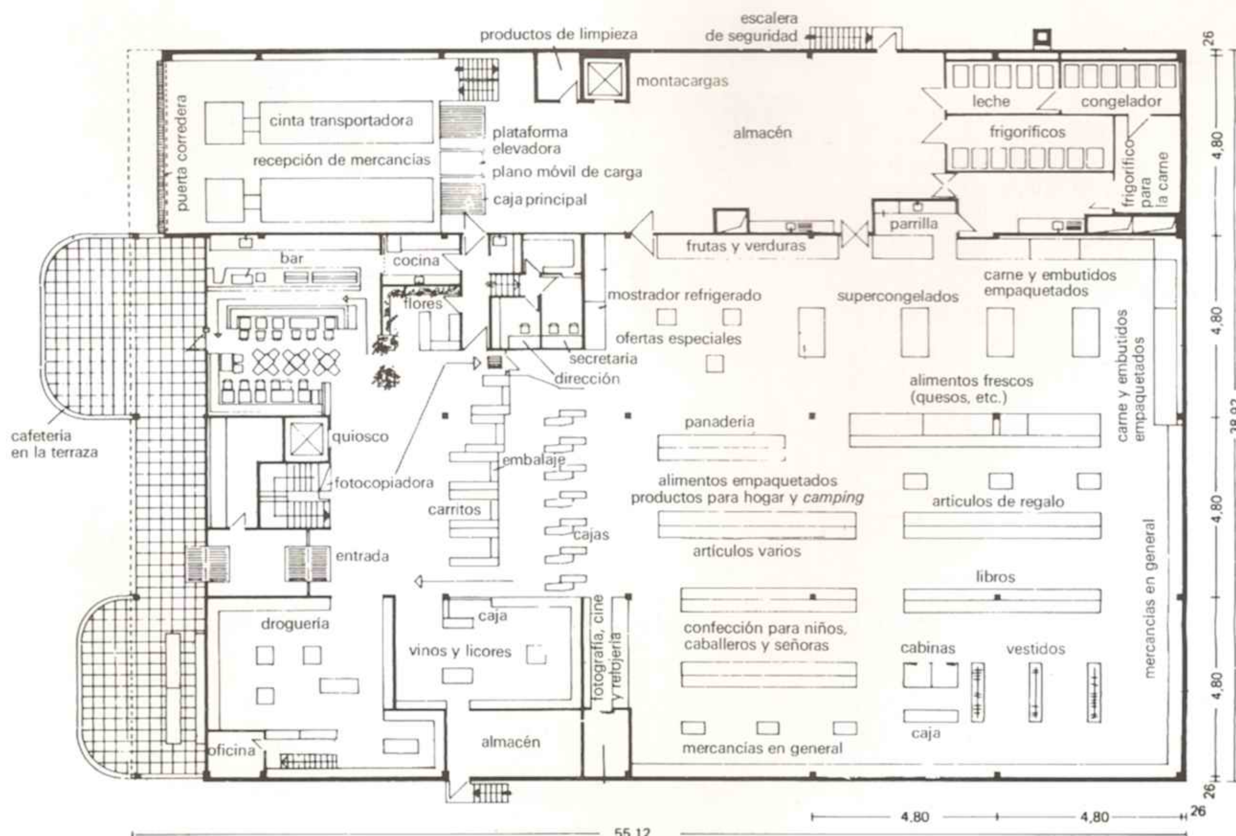
Los instrumentos que se utilizan en el dibujo técnico son prácticamente los mismos en todos los casos, con la excepción de algunos muy específicos que se necesitan para ejecutar técnicas especiales.

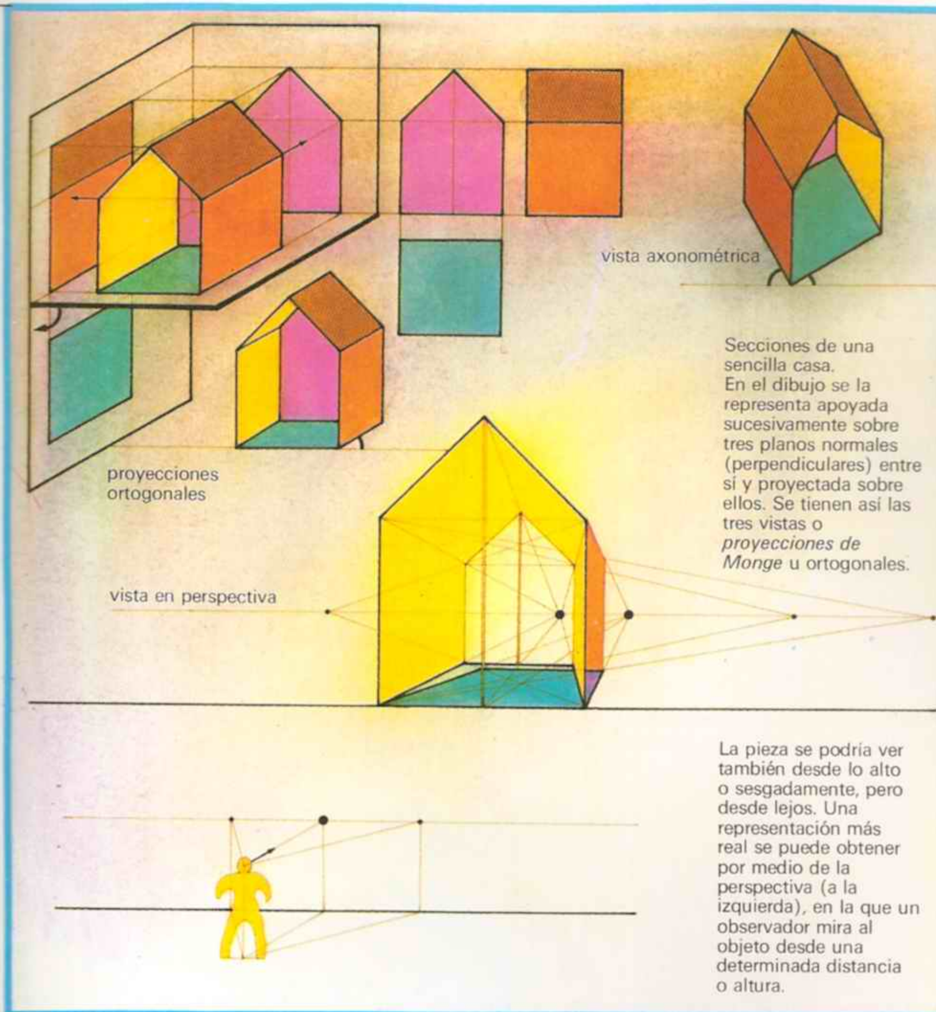
**La realización de los dibujos** Los dibujos se realizan sobre un tablero liso de madera o metal cuya altura e inclinación pueden regularse. Algunos tableros de dibujo tienen un reborde alrededor y llevan sobreimpresas líneas para facilitar el cálculo de la perspectiva y de las dimensiones. Una escuadra en T, parecida a dos reglas unidas, sirve para trazar líneas paralelas y perpendiculares según ángulos de perspectiva prefijados. Se usan también plantillas triangulares para poder trazar ángulos, y escalímetros para representar el objeto a una escala determinada. Compases y perfiles especiales sirven para dibujar círculos, elipses y otras curvas. Entre los instrumentos del dibujante se incluyen los compases de puntas fijas, útiles para reducir o ampliar un dibujo; plumas estilográficas técnicas, en las que el flujo de tinta es constante y con las cuales se puede variar el ancho de los trazos cambiando simplemente las cabeceras especiales, alimentadas por una conducción capilar; lápices variados, con indicativos del espesor y dureza de la mina; materiales para borrar trazos incorrectos sin deteriorar la superficie del papel.

En cuanto al tipo de papel utilizado, depende de las exigencias del trabajo. La mayor parte de los dibujos se hacen sobre papel vegetal transparente de poco gramaje, en tanto que los trabajos definitivos se realizan en papel de más grosor. Las copias se obtienen mediante un proceso fotográfico en unas máquinas especialmente concebidas para tal función que se conocen con el nombre de *reproductoras de planos*.

El dibujante técnico dispone de un "vocabulario" constituido por elementos gráficos y símbolos para representar claramente en el dibujo tanto los elementos específicos como los genéricos. Cemento, yeso, ladrillo, vidrio y madera son algunos de los materiales cuyo empleo se expresa mediante símbolos convencionales.

Por otra parte, casi todos los objetos se representan utilizando varias perspectivas y proyecciones. Por ejemplo, los planos de una casa se realizarán en varias proyecciones: o sea, la imagen del objeto






Secciones de una sencilla casa. En el dibujo se la representa apoyada sucesivamente sobre tres planos normales (perpendiculares) entre sí y proyectada sobre ellos. Se tienen así las tres vistas o *proyecciones de Monge* u ortogonales.

La pieza se podría ver también desde lo alto o sesgadamente, pero desde lejos. Una representación más real se puede obtener por medio de la perspectiva (a la izquierda), en la que un observador mira al objeto desde una determinada distancia o altura.

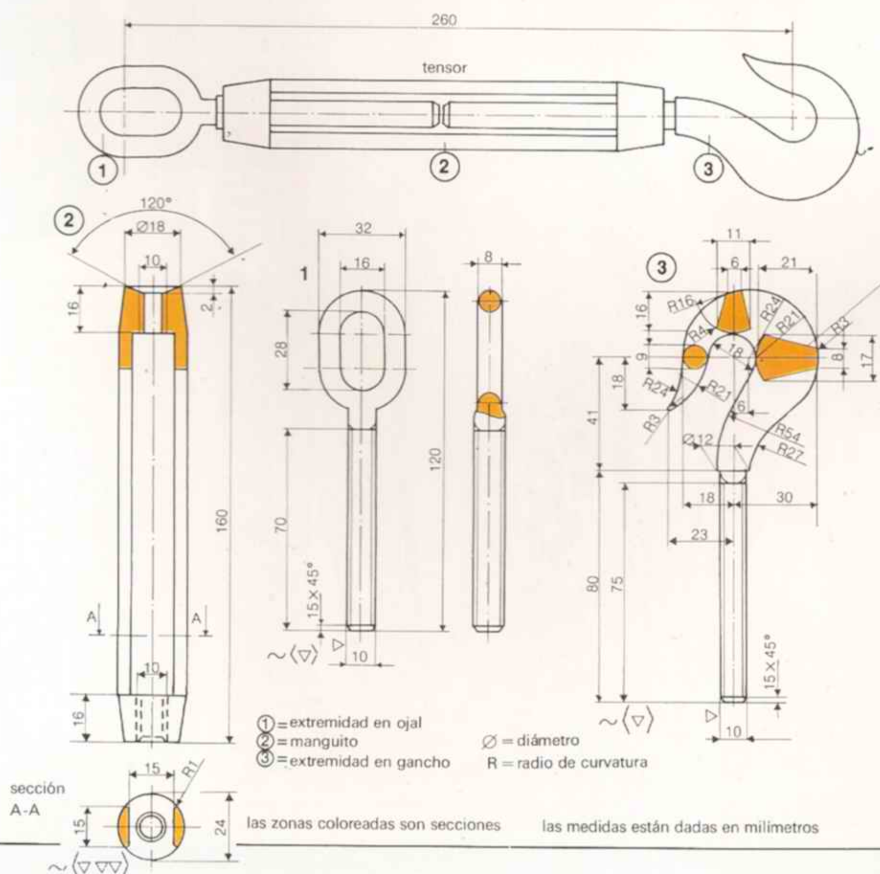
se proyectará según ángulos y perspectivas diferentes. Estas perspectivas, insertas en dibujos de secciones (una planta del edificio, por ejemplo) y de proyecciones (de diversos lados), pueden ser paralelas, axonométricas, oblicuas, múltiples u ortográficas; estas vistas se diferencian entre sí por los ángulos según los cuales se proyectan sobre el papel.

**El futuro del dibujo** Siendo el dibujo una técnica compleja, es posible representar cualquier máquina u objeto de formas muy diversas, de ahí que la computerización de los dibujos y de los proyectos haya tenido tanto éxito en las empresas de ingeniería y proyectos. Los sistemas gráficos de los ordenadores contienen en su memoria una serie de programas específicos, una pantalla gráfica para representar planos e ilustraciones y un teclado para introducir en el sistema las diversas órdenes en código. Sirviéndose de tal sistema, un operador puede obtener dibujos con cualquier perspectiva y con cualquier escala.

El ordenador es particularmente útil en el diseño de hoteles, edificios destinados a oficinas o escuelas, que constan de muchos elementos repetidos.

El proyectista puede asimismo desarrollar soluciones alternativas utilizando el ordenador, sin que aparezcan trazas en la copia definitiva hasta que se imparta al sistema la orden correspondiente. Esto es lo que se llama *modo interactivo de operar* con un sistema computerizado. Algunos sistemas informáticos están conectados a un dispositivo semejante a un tablero de dibujo, constituido por una lámina de vidrio transparente que contiene conductores eléctricos imperceptibles que forman una retícula, de forma que es posible transferir los dibujos realizados sobre el tablero a la memoria y a la pantalla del sistema, donde pueden "leerse", analizarse y modificarse según se desee. En cualquier caso, la mayor eficiencia de la computadora no ha conseguido convertir en obsoletos los dibujos hechos a mano por el proyectista.

Véase **Diseño con ordenador**




A la izquierda, dibujo de la planta de un gran supermercado. Un dibujo de este tipo es utilizado, por ejemplo, para calcular sobre él la ubicación del mobiliario. En el caso presente, sin embargo, el plano recoge incluso elementos de detalle. A la derecha de estas líneas, dibujo técnico que deberá servir de plano de fabricación. El dibujo de piezas mecánicas sigue reglas codificadas por una precisa normativa de unificación, disponiendo además de todas las vistas necesarias para una fabricación correcta. Los planos van provistos también de todas las medidas con que habrá de realizarse la pieza, de modo que el operario de la máquina no se vea precisado a realizar ningún cálculo.

# Dientes, higiene y cuidado

Hasta el siglo XIX la práctica de la odontología consistía casi íntegramente en la extracción de las piezas dentarias dolorosas y en su sustitución mediante prótesis artificiales, que con frecuencia estaban mal colocadas y eran incómodas. En tiempos aún más antiguos la Odontología ni siquiera había alcanzado la categoría de una verdadera profesión. En Europa y en la América colonial, la gente era atendida por una serie de barberos, herreros, charlatanes y sacamuelas ambulantes. Estos últimos instalaban sus instrumentos en las plazas de las ciudades y llevaban a cabo las extracciones a la vista de un público divertido y fascinado, mientras que una banda musical local tocaba para encubrir los gritos y lamentos del desafortunado paciente. Las actividades de Sweeney Tood y de otros "barberos" se basaban en inventos tales como la llave girable, un instrumento manual que operaba según un movimiento circular parecido al de un moderno abrelatas, y que tenía bastante éxito en las extracciones de los dientes más firmemente implantados.

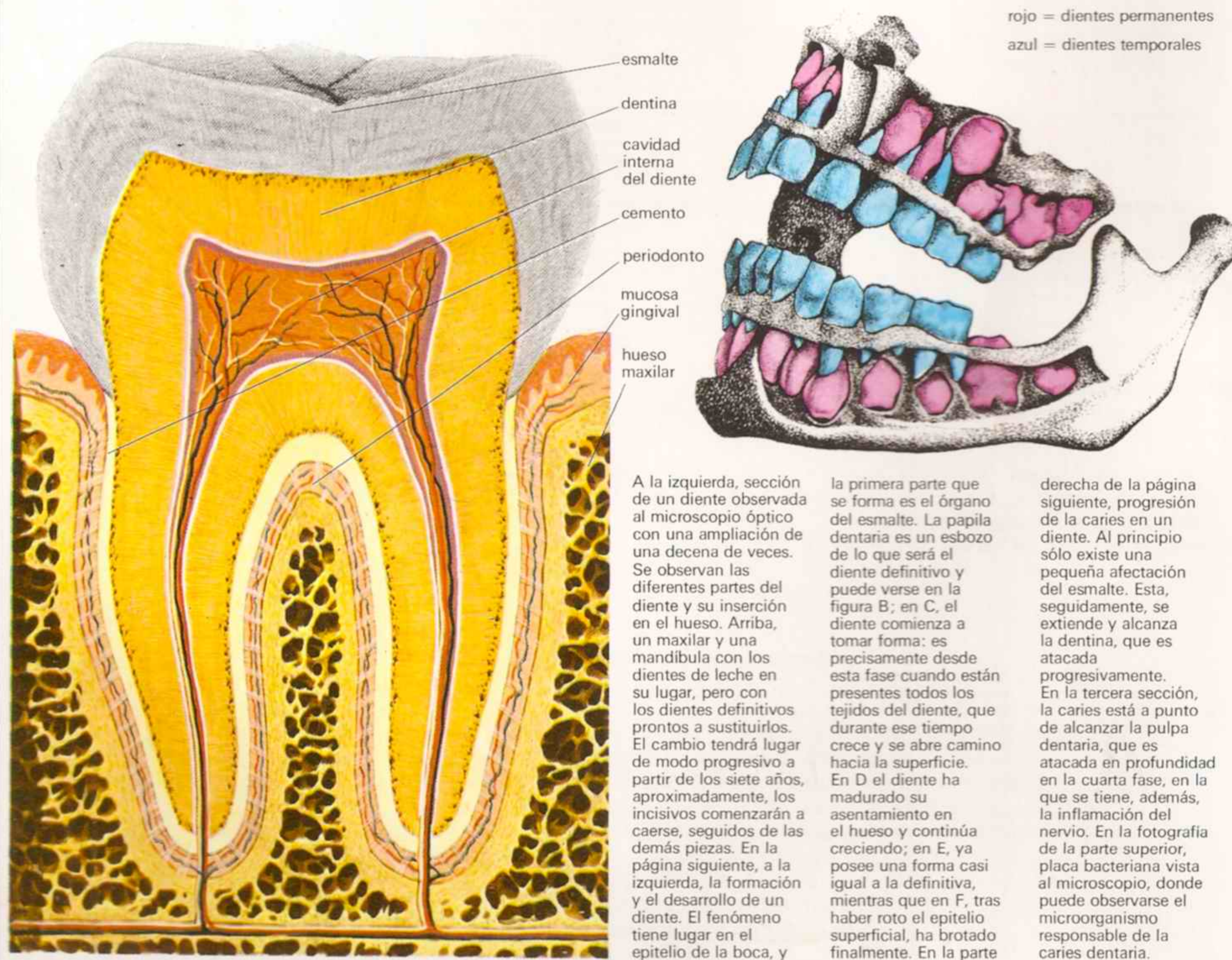
El torno a pedal, antecesor del torno actual, fue inventado por un dentista estadounidense, John Greenwood, en 1785.

**La Odontología alcanza la mayoría de edad** El torno eléctrico para odontología fue inventado en 1883, mientras que otro dentista norteamericano, Greene Vardiman Black, perfeccionaba la amalgama de plata (una aleación formada por plata, mercurio y estaño) como material para el rellenado de cavidades. La principal ventaja de esta aleación, todavía utilizada en nuestro tiempo, era que, una vez colocada en la cavidad, no aumentaba ni disminuía de volumen. Pero el resultado más importante alcanzado en aquellos años fue el desarrollo de las sustancias anestésicas. En 1844, en Estados Unidos, Horace Wells fue el primero en utilizar el óxido nitroso como anestésico. El óxido nitroso, también llamado *gas hilarante*, se ha seguido utilizando hasta hace pocos años. En 1846, William Thomas Green Morton introdujo el uso del éter con fines anestésicos. La primera escuela de odontología, el Baltimore College of Dental Surgery, fue fundada en 1839. No obstante, antes de fin de siglo eran muy pocos los dentistas diplomados en las escuelas de odontología.

**La total eliminación del dolor** Hasta el año 1950, una visita al dentista podía resultar desagradable y dolorosa. En 1905 el médico Albert Einhorn había sintetizado la novocaína. Este compuesto era directamente inyectado en el tejido gingival e inhibía temporalmente la sensibilidad local, de manera que un diente podía ser limpiado con el torno o extraído sin dolor. Sin embargo, durante muchos años numerosos dentistas renunciaron a usarla, ya fuera por su alto costo o bien por las grandes agujas utilizadas para inyectarla, que atemorizaban a los pacientes.

En torno a 1960 fueron introducidas agujas más pequeñas y más afiladas y el uso de la novocaína se generalizó. Hoy día el anestésico más utilizado es un derivado de la novocaína llamado *lidocaína*. Los tornos de velocidad alta y muy alta introducidos en 1957 han hecho posible la limpieza y la obturación de más de una pieza dentaria en una sola sesión, mientras que anteriormente la norma era realizar una obturación por sesión.

**Procedimientos odontológicos modernos** En el curso de una sesión odontológica pueden llevarse a cabo actualmente las intervenciones que a continuación se exponen.



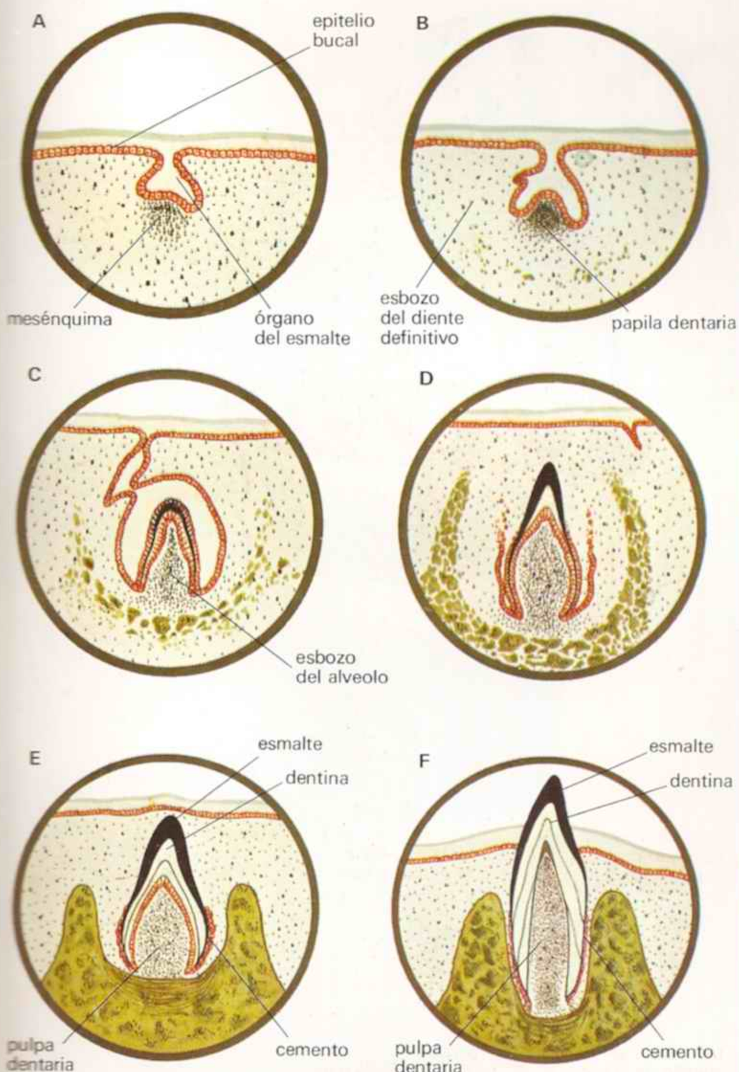

A la izquierda, sección de un diente observada al microscopio óptico con una ampliación de una decena de veces. Se observan las diferentes partes del diente y su inserción en el hueso. Arriba, un maxilar y una mandíbula con los dientes de leche en su lugar, pero con los dientes definitivos prontos a sustituirlos. El cambio tendrá lugar de modo progresivo a partir de los siete años, aproximadamente, los incisivos comenzarán a caerse, seguidos de las demás piezas. En la página siguiente, a la izquierda, la formación y el desarrollo de un diente. El fenómeno tiene lugar en el epitelio de la boca, y la primera parte que se forma es el órgano del esmalte. La papila dentaria es un esbozo de lo que será el diente definitivo y puede verse en la figura B; en C, el diente comienza a tomar forma: es precisamente desde esta fase cuando están presentes todos los tejidos del diente, que durante ese tiempo crece y se abre camino hacia la superficie. En D el diente ha madurado su asentamiento en el hueso y continúa creciendo; en E, ya posee una forma casi igual a la definitiva, mientras que en F, tras haber roto el epitelio superficial, ha brotado finalmente. En la parte derecha de la página siguiente, progresión de la caries en un diente. Al principio sólo existe una pequeña afectación del esmalte. Esta, seguidamente, se extiende y alcanza la dentina, que es atacada progresivamente. En la tercera sección, la caries está a punto de alcanzar la pulpa dentaria, que es atacada en profundidad en la cuarta fase, en la que se tiene, además, la inflamación del nervio. En la fotografía de la parte superior, placa bacteriana vista al microscopio, donde puede observarse el microorganismo responsable de la caries dentaria.

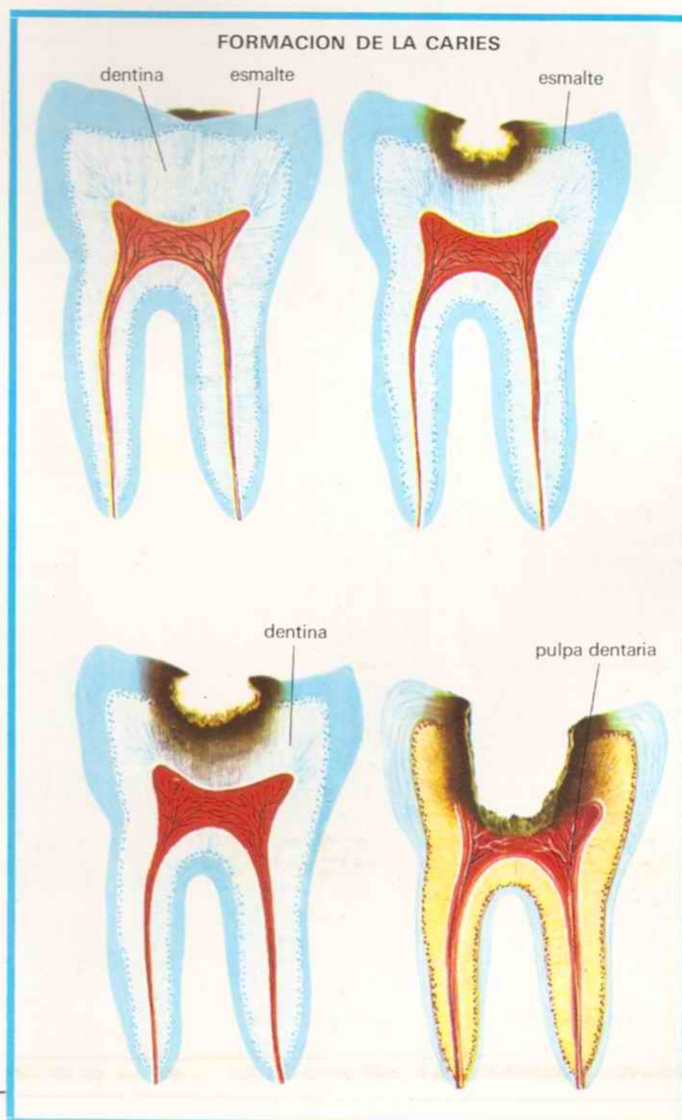



*Profilaxis*: raspadura del sarro dentario (conocido también como *cálculo)* y de otras sustancias de los dientes por medio de instrumentos apropiados y de sustancias abrasivas.

*Radiografía y examen general*: habitualmente, durante la primera visita se realiza una radiografía de los dientes en conjunto para detectar caries o anomalías. Además, de este modo se controlan obturaciones antiguas, puentes o taraceas para descubrir eventuales caries escondidas.

*Obturaciones*: para eliminar las zonas careadas se utiliza un trépano de alta velocidad (hasta 300.000 giros por minuto). El orificio es, en consecuencia, agrandado y modelado de manera que sea posible la retención de la sustancia de relleno. En la mayor parte de los casos se usa la amalgama de plata; también puede utilizarse el oro, sobre todo para obturaciones voluminosas y para la fabricación de coronas, particularmente en los dientes posteriores. Para los dientes anteriores —más visibles— se utiliza la porcelana, porcelana sintética o resinas de silicona, ya que estos materiales pueden ser fabricados en colores que imitan el color natural del diente del paciente.

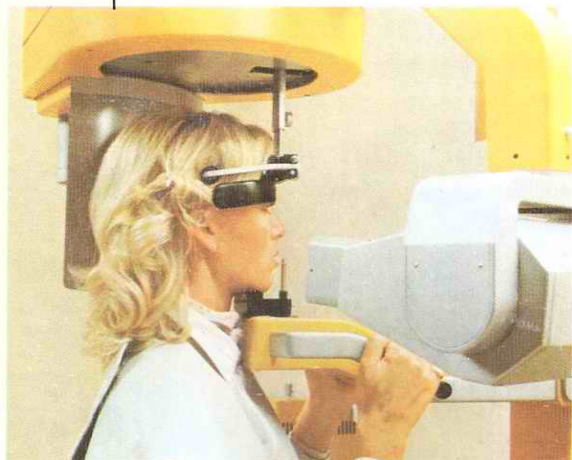


*Intervenciones en el canal radicular*: estas intervenciones se denominan también *endodoncias*. Cuando el nervio del diente ha sido dañado o se encuentra inflamado, la pulpa —es decir, la región central del diente, que contiene los vasos sanguíneos y las terminaciones nerviosas— es eliminada y sustituida con gutapercha (una sustancia maleable, de color gris claro, obtenida del látex de una planta tropical de la familia de las Sapotáceas) o con resina curada. La zona careada, por lo tanto, es sustituida con material de relleno.

**Problemas particulares** Las enfermedades de las encías son responsables de casi la mitad de las pérdidas dentarias sufridas en la edad adulta. El tratamiento de esas enfermedades, que atacan al hueso que rodea el diente, corresponde a una especialidad denominada *periodoncia*. Generalmente se hace necesaria la retirada de la placa que se forma sobre los dientes, el tratamiento de la infección y a veces la eliminación del tejido gingival infectado.

Las reconstrucciones oclusivas requieren la restauración de las superficies masticatorias de los dientes superiores e inferiores dañados. Esta intervención puede comportar la construcción de coronas, de taraceas, de puentes provisionales o permanentes, es decir, de uno o más dientes artificiales fijados a un soporte que se sostiene en los dientes naturales contiguos.

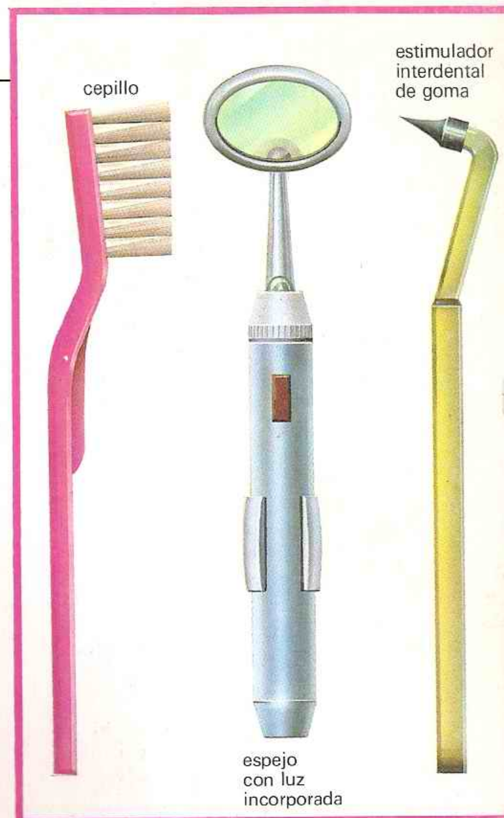


En lo concerniente a la sustitución de dientes que faltan, cuando se encuentran aún dientes sanos se coloca una dentadura postiza parcial, mientras que se recurre a una dentadura completa en los casos en que en una u otra arcada faltan todos los dientes. Sin embargo, en la moderna odontología, la extracción de un diente se considera el último recurso. Los dentistas de nuestros días piensan que la extracción de un diente, exceptuando las muelas del juicio, debe ser una intervención extraordinaria; es decir, tienden a la conservación de los dientes.

**La prevención de la caries dentaria** La prevención de la caries dentaria ha experimentado una mejoría muy notable con la introducción de fluoruros en el agua potable, lográndose una reducción de la incidencia de caries del 40 al 60% entre las personas de edad inferior a los veinticinco años.

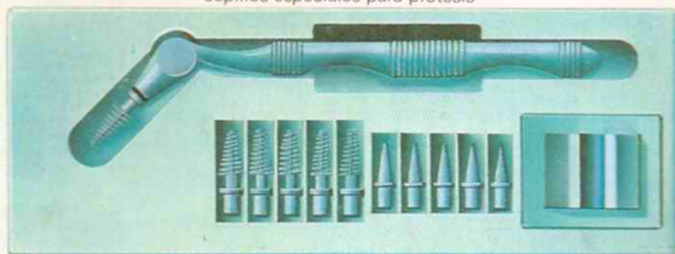
Hoy en día, los dentistas están interesados tanto en la prevención de la caries como en la reparación de sus efectos. Por ejemplo: para tapar las hendiduras de la superficie de los dientes se utiliza un revestimiento plástico, mientras que están en curso investigaciones para intentar la producción de una vacuna anticaries que eliminaría el problema completamente.

**Aspectos psicológicos de la práctica odontológica** En el transcurso de su especialización, los futuros dentistas reciben también algunas indicaciones sobre los aspectos psicológicos de la práctica odontológica, y en particular sobre los concernientes a la eliminación del miedo en los niños, ya que desarrollar una actitud serena en el tratamiento odontológico es un factor importante para la curación de los trastornos dentarios. Multitud de clínicas dentales no se presentan ya, como en otros tiempos, pintadas con colores antisépticos y fríos, sino que se encuentran





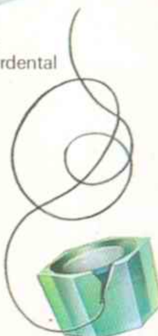

Junto a estas líneas, un moderno sillón de trabajo para dentistas. Puede parecer de dimensiones pequeñas, pero ello es debido a que toda la instrumentación ha sido muy "compactada". El sillón para el paciente está previsto también para adoptar la posición horizontal; los asientos del médico y de sus ayudantes se mueven sobre ruedas. →





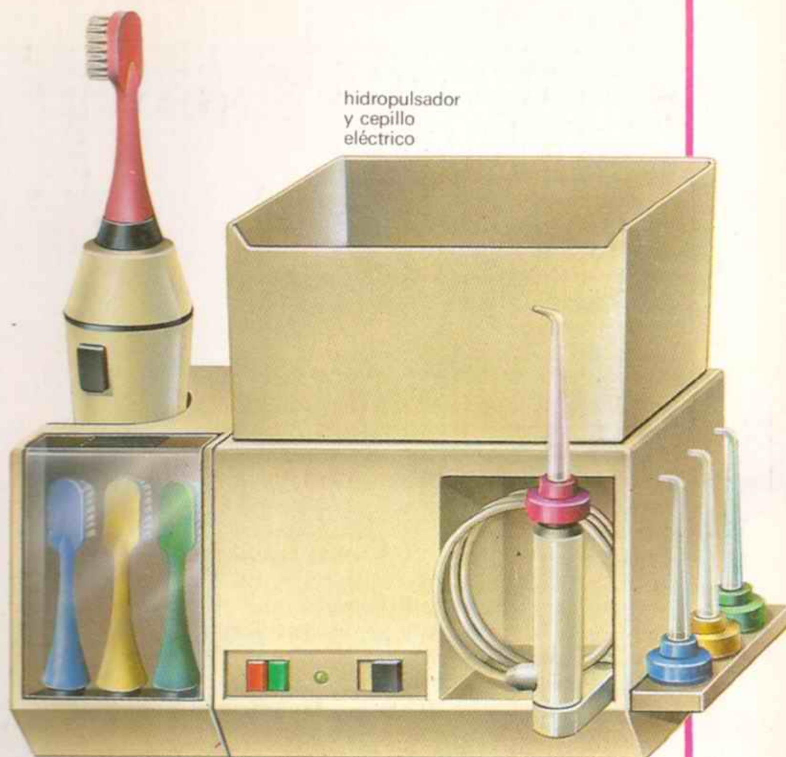











Arriba, algunos instrumentos para la higiene dental. El cuidado continuo exige instrumentos como éstos: a la izquierda, cepillo para la limpieza en posiciones difíciles, un espejillo con luz para el examen de la cavidad bucal y una aguja flexible para la limpieza de cavidades apartadas; en el centro y a la derecha, instrumentos varios y un equipo con un cepillo vibratorio.




→ De una pequeña mesa-consola salen los cables flexibles necesarios para el aire comprimido. Hacia la izquierda (en la página anterior), dos cabezas de torno de alta velocidad; y en la fotografía, técnica tomográfica panorámica que permite no sólo la exploración de las arcadas dentarias, sino también la visualización de toda la zona maxilo-facial.

decoradas con tonos agradables y divertidos. Los padres son animados por las autoridades sanitarias a llevar a sus hijos al dentista por vez primera en torno a los cinco años de edad, antes de que se haga necesaria una eventual intervención terapéutica.

**Higiene de los dientes** La higiene dental tiene como finalidad la conservación de los dientes en condiciones de salud mediante adecuados hábitos alimentarios y procedimientos de limpieza.

Generalmente, los dentistas recomiendan no comer alimentos que contengan grandes cantidades de azúcar o de almidón. Estos alimentos, sin embargo, figuran entre los preferidos por los niños, como los caramelos, las gomas de mascar, los helados y los chocolates, cuyos residuos permanecen entre los dientes.

Es conveniente un control de la dentadura cada seis meses, así como una limpieza regular mediante un cepillo de dientes y un dentífrico adecuado. Una correcta limpieza de los dientes implica el frotamiento de la superficie anterior con un movimiento hacia arriba y hacia abajo, y de las superficies masticatorias mediante un movimiento hacia delante y hacia atrás. Los espacios existentes entre un diente y otro pueden limpiarse con una seda dental. Los aparatos automáticos que lanzan chorros de agua son útiles para aquellos que sufren periodontitis, pero por sí solos no bastan para prevenir la caries.

Los enjuagues son eficaces solamente como un medio temporal para eliminar la halitosis, pero no para resolver las causas de la misma, que habitualmente son la presencia de residuos alimenticios o de grandes caries. Lavarse los dientes con agua y cepillo simplemente es, en efecto, un medio suficiente para eliminar los residuos de alimento, pero es más conveniente utilizar también una crema dentífrica, ya que muchos dentífricos actuales contienen fluoruros.

Véase **Dentífrico**

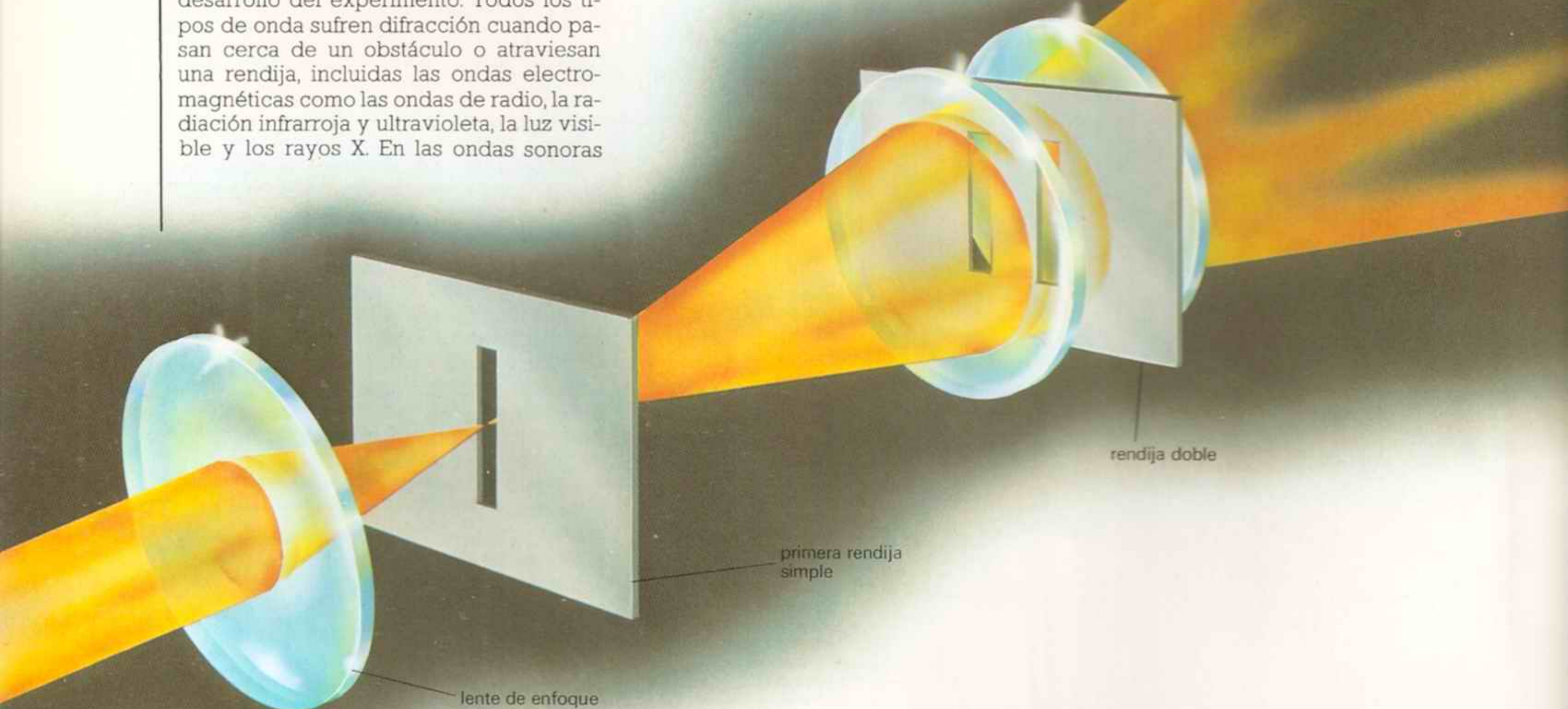
# Difracción

Si se deja caer una piedra en un estanque de aguas tranquilas, se puede ver cómo se propaga sobre su superficie un grupo de ondas de forma circular a partir del punto en el que ha caído la piedra. Si a continuación se colocan dos listones extendidos sobre la superficie del agua uno a continuación del otro, dejando una separación (1 cm) en medio, y se repite el experimento a una distancia aproximada de un metro, se puede ver que al llegar las ondas al obstáculo tienden a curvarse alrededor de los bordes de éste. A partir del momento en que atraviesan la estrecha separación entre los listones, las ondas se expanden formando círculos como si la piedra hubiera caído en ese punto. Este fenómeno se llama *difracción* (del latín *difractum*, que significa "roto en pedazos") y lo hemos ilustrado a través del ejemplo del movimiento de ondas en el agua porque este tipo de ondas se pueden ver fácilmente a lo largo de todo el desarrollo del experimento. Todos los tipos de onda sufren difracción cuando pasan cerca de un obstáculo o atraviesan una rendija, incluidas las ondas electromagnéticas como las ondas de radio, la radiación infrarroja y ultravioleta, la luz visible y los rayos X. En las ondas sonoras también existe difracción, lo que explica que podamos oír sonidos aunque el origen de éstos esté detrás de un obstáculo, como en el caso en el que alguien nos habla desde otra habitación. Como veremos más adelante, los científicos aprovechan este comportamiento de las ondas en muchos instrumentos sofisticados, que les permiten obtener resultados asombrosos, como deducir la composición de las estrellas que están a centenares de años luz de la Tierra o mostrar la situación precisa que tienen los átomos en un cristal, difractando un haz luminoso a través del mismo.

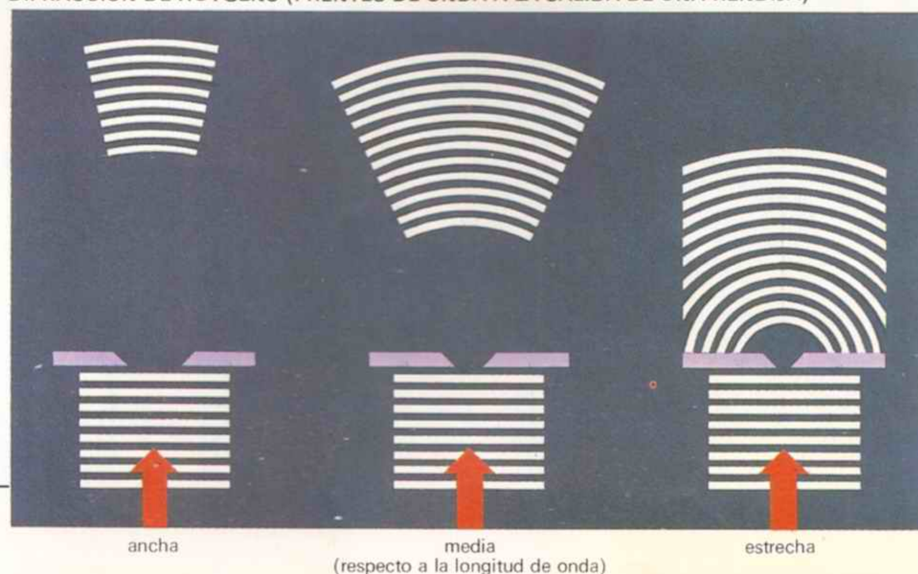
Si se sujeta un lápiz bien afilado entre la lámpara de la mesa y la página de este libro, se puede observar que la sombra del lápiz, cuando está a una distancia apro-

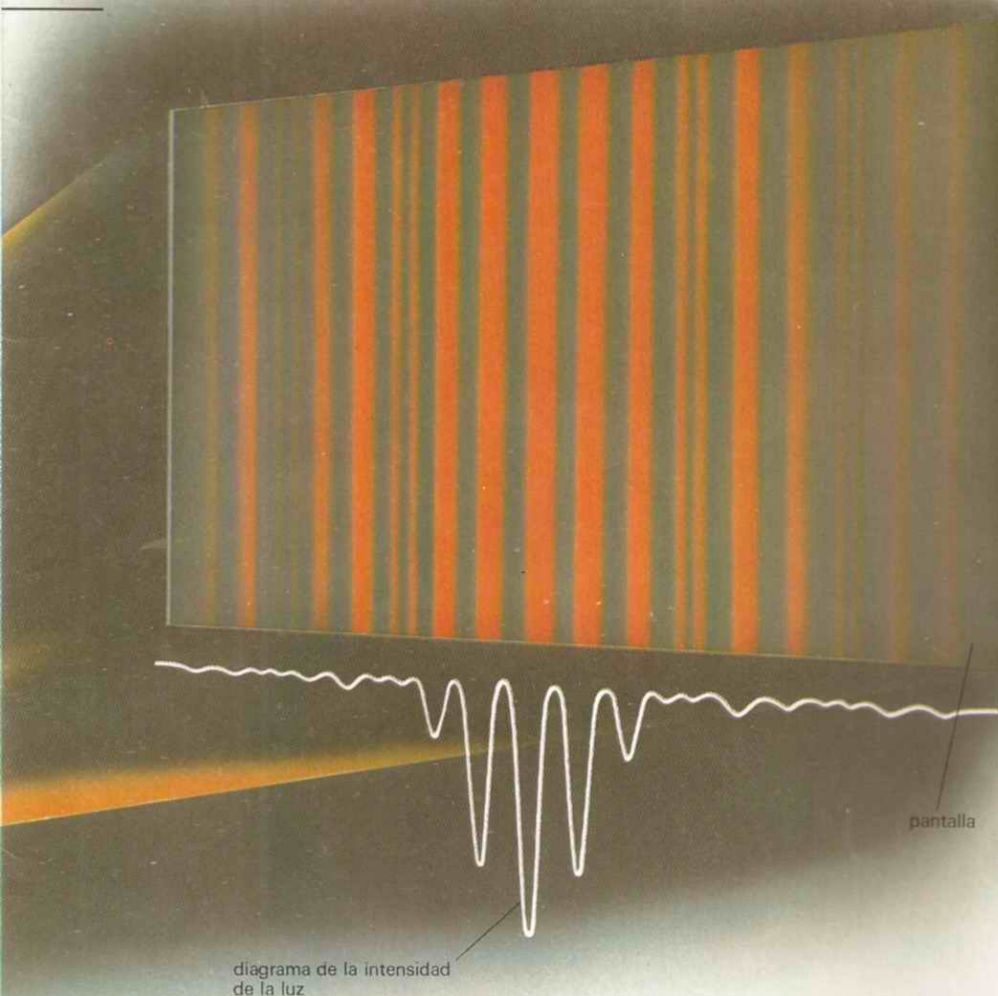
Hoy en día se realizan muchos experimentos de óptica utilizando como fuente de luz un láser. Esta fuente ofrece la ventaja de proporcionar una luz con unas propiedades, que si bien no siempre son todas necesarias, son muy útiles. Por este motivo se olvida muchas veces que estos experimentos, de una importancia fundamental en el desarrollo de la óptica, se realizaron al principio con lámparas eléctricas normales e incluso con velas. En la ilustración de abajo se ha utilizado una lámpara que ilumina una estrecha rendija a través de una lente convergente. Los rayos de luz divergentes que salen vuelven a ser paralelos al pasar por una segunda lente convergente. El efecto de la difracción se puede observar en la imagen proyectada sobre la pantalla. Más abajo está representada en tres esquemas la teoría de la difracción, derivada del principio de Huygens. Una onda se propaga de forma que desde cada punto de su frente de onda se produce una perturbación que crea una onda esférica. La suma de las ondas esféricas procedentes de cada punto del frente da lugar a la resultante. Si se aplica este principio a la onda que sale de un hueco grande al que llega una onda plana se puede observar una onda ligeramente curvada. A medida que el paso se estrecha, la onda se va pareciendo más a una onda esférica, y se parece cada vez más a medida que el tamaño del hueco se va acercando a la longitud de onda.

**DIFRACCION A TRAVES DE RENDIJA DOBLE**




**DIFRACCION DE HUYGENS (FRENTES DE ONDA A LA SALIDA DE UNA RENDIJA)**






Abajo, dos imágenes de difracción obtenidas con unos medios relativamente simples. En el dispositivo de la figura principal, la rendija se puede construir fácilmente acercando dos cuchillas de afeitar bien limpias y pegadas a un pequeño soporte de madera o cartón. La fuente de luz puntiforme se puede obtener con una lámpara cubierta con un papel de aluminio en el que se ha hecho un agujero con un alfiler. La imagen de la difracción se puede observar sobre una pantalla o se puede fotografiar con un tiempo de exposición inversamente proporcional a la luminosidad de la imagen.

ximada de un centímetro es nítida en la parte interna del cuerpo del lápiz y está desenfocada en los bordes y especialmente en la punta. Este hecho se produce porque las ondas luminosas se curvan en los bordes, como sucedía en el caso del agua con el obstáculo.

El primer científico que se dedicó al fenómeno de la difracción fue el físico italiano del siglo XVII Francesco Grimaldi, que observó que la luz no se desplaza exactamente en línea recta, sino que se puede curvar muy ligeramente alrededor de los obstáculos. En el mismo siglo, el físico holandés Christian Huygens formuló su teoría ondulatoria de la luz en la que exponía el llamado *principio de Huygens*, según el cual todo punto de un frente de onda puede considerarse centro emisor de ondas secundarias. Utilizando este principio, Huygens proporcionó una explicación simple de las leyes de la reflexión y la refracción.

**Redes de difracción** Después de que Isaac Newton explicara la razón por la que un rayo de luz blanca se separa en los colores del espectro al atravesar un prisma, el investigador bávaro Joseph von Fraunhofer descubrió que se podía obtener un espectro mucho más preciso haciendo que el rayo de luz pasara a través de una rendija estrecha. Gracias a este hallazgo llegó a inventar las *redes de difracción*, que están formadas por una placa de vidrio sobre la que se trazan algunos miles de líneas por centímetro. Ya que las líneas son opacas, la luz que llega a la red pasa sólo a través de los espacios transparentes que hay entre ellas, de forma que la luz se difracta y se forma un espectro de luz de colores (violeta, índigo, azul, verde, amarillo, naranja y rojo). Se puede notar un efeto similar cuando se ilumina un disco de 33 revoluciones, en el que la gran cantidad de surcos concéntricos hacen la función de red de difracción en la que la luz se difracta por reflexión.

**FIGURAS DE LA DIFRACCION A TRAVES DE RENDIJA SIMPLE**




**Aplicaciones de las redes de difracción** La difracción tiene una aplicación práctica muy importante en un instrumento llamado *espectrógrafo de difracción*, aparato complejo y sensible que utilizan los astrónomos para analizar los espectros de la luz que emiten las estrellas. Por medio de este análisis, los astrónomos pueden determinar no sólo los elementos químicos que componen una determinada estrella, sino también la velocidad con la que dicha estrella se está acercando o alejando respecto a nuestra zona del Universo. Esta información se puede obtener observando el desplazamiento del espectro hacia el azul —cuando se acerca— o hacia el rojo —cuando se aleja—. Para la mayor parte de los análisis espectrales son suficientes redes con aproximadamente 6.000 líneas por centímetro, pero se han llegado a construir redes con más de 40.000 líneas por centímetro. La fabricación de instrumentos con tal grado de calidad necesita obviamente una tecnología óptica de alta precisión.

**Otras aplicaciones de la difracción** Las redes de difracción se utilizan también en aparatos de medida de alta precisión, en los que parejas de redes producen dibujos jaspeados *(moiré)* (como las curvas de difuminado múltiple que se producen en la seda o en otros tejidos de trama fina). Estos anillos *moiré* proporcionan datos que se pueden introducir en un ordenador para medir desplazamientos con una tolerancia de 0,00127 centímetros. Como la difracción se experimenta en todos los fenómenos ondulatorios, los físicos utilizan estos principios para irradiar los cristales con rayos X, que se difractan por las filas de átomos cercanas que forman la red cristalina. De esta forma, los investigadores pueden determinar la posición de los átomos en el interior del cristal. De una forma parecida se puede enviar un flujo de electrones hacia materiales sólidos para determinar su estructura atómica.

Véase **Diagrama de Hertzprung-Russell; Electromagnetismo**

# Difteria

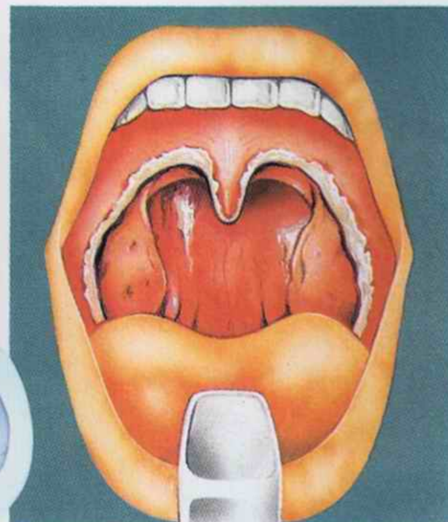
A comienzos del siglo XX, la difteria era una de las más graves enfermedades contagiosas y constituía una de las principales causas de muerte en los niños. En nuestros días, esta enfermedad no solamente es curable, sino que también se puede prevenir gracias a la vacunación de los recién nacidos.

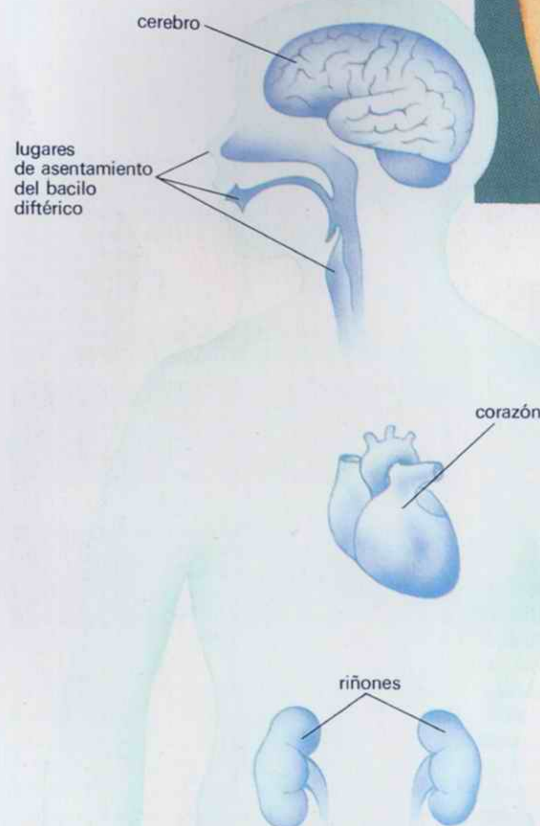
**Síntomas y problemas** La difteria es una enfermedad que afecta a las vías respiratorias superiores, es decir, la nariz y la garganta. El agente causante es el bacilo diftérico o *Corynebacterium diphtheriae*. Cuando éste ataca por vez primera al organismo, se aloja en la parte posterior de la garganta, donde comienza a multiplicarse. Posteriormente, las bacterias producen una toxina que provoca la mayoría de los síntomas de la difteria. A medida que las bacterias se reproducen, forman una membrana amarillo-verdosa que se adhiere tan sólidamente a los tejidos de la garganta que su extirpación da lugar a hemorragias. Sin embargo, el tamaño de la membrana no se correlaciona con la gravedad de la enfermedad, dado que la toxina es transportada por la sangre a todo el organismo. En los casos menos graves, la difteria provoca solamente fiebre, inflamación en la garganta y cansancio, mientras que en los casos más graves resultan afectados el corazón, el sistema nervioso, los riñones y otros órganos. La difteria puede resultar mortal si la toxina provoca grandes daños en estos órganos o si la membrana aumenta de tamaño de tal manera que quede bloqueado el paso de aire hacia la tráquea y los pulmones. La obstrucción respiratoria se puede prevenir, dado que es posible hacer pasar un tubo a la tráquea a fin de permitir la respiración hasta que se controlen tanto la infección como sus síntomas.

**Historia del tratamiento** El tratamiento y el control de la difteria no han sido posibles hasta el descubrimiento de las bacterias, de las toxinas producidas por ellas y de las sustancias capaces de destruir o de neutralizar ambas. El avance más importante en la investigación de un tratamiento adecuado para la difteria tuvo lugar antes de la I Guerra Mundial, cuando Emil von Behring, un bacteriólogo alemán, se dio cuenta de que los conejillos de Indias se volvían inmunes tras un episodio de difteria. Las personas son inmunes a una enfermedad cuando su organismo produce anticuerpos de defensa, sustancias proteicas presentes en la sangre, que atacan las sustancias extrañas y las rodean, o bien consiguen eliminarlas del todo. Los anticuerpos son muy específicos y deben estar presentes en cantidades adecuadas en el organismo en el momento del ataque; por lo tanto, nuestro organismo debe permanecer expuesto a una determinada sustancia al menos una vez antes de poder generar anticuerpos contra la misma. Von Behring descubrió que, inyectando una pequeña cantidad de antitoxina (suero de sangre que contiene anticuerpos) en un animal sano, éste resultaba protegido frente a los ataques de la enfermedad. Esta inmunidad transferida duraba poco tiempo en los niños, de manera que von Behring utilizó una combinación de toxina y antitoxina para conseguir que los niños produjeran sus propios anticuerpos. No obstante, tras la I Guerra Mundial, unos médicos norteamericanos idearon el *toxoide*, utilizado hasta nuestros días como vacuna. El toxoide se obtiene de la toxina, calentada y tratada con sustancias químicas de modo que se obtenga una sustancia que, sin ser patógena, sea capaz de estimular la producción de anticuerpos eficaces contra la verdadera toxina.

El tratamiento de los pacientes afectados por la difteria requiere la utilización de antitoxina y antibióticos (como la penicilina) capaces de destruir las bacterias. Sin embargo, los esfuerzos más importantes se han dirigido a la organización de programas de inmunización. Si se pudiera inmunizar a todos los niños, la difteria podría desaparecer. La Organización Mundial de la Salud ha incluido la difteria en la lista de las seis enfermedades que pue-








Arriba, fotografía de *Corynebacterium diphtheriae* y formaciones pseudomembranosas. A la izquierda, los órganos más atacados por la toxina producida por los microorganismos patógenos: corazón y vasos, riñones y sistema nervioso, en el cual las complicaciones a veces pueden revestir gravedad. En la página siguiente, arriba, reacción al *test* de *Schick*, utilizado para determinar la probabilidad de que un individuo contraiga la enfermedad, recogiendo en este caso la sensibilidad al test entre uno y cuatro años. Abajo, realización del *test de Schick*, mediante inyección intradérmica de una pequeña cantidad de toxina diftérica: la mancha rojiza cutánea (fotografía de la derecha) indica que el sujeto no tiene anticuerpos específicos circulantes y que por lo tanto tiene una mayor probabilidad de contraer la enfermedad. El sujeto es definido como *Schick-positivo*.

80
70
60
50
40
30
20
10
0
1 2 3 4 5 9 10

curva relativa al período de 0-5 años

curva relativa al período de 9-10 y más años





den resultar mortales para los niños y espera conseguir hacia el año 2000, la inmunización de todos los niños del mundo contra la misma. La vacunación contra la difteria se debería efectuar aproximadamente a los tres meses de edad y a continuación, hacia los 2 y 5 años, se deberían efectuar también otras vacunaciones de recuerdo.

Las formas clínicas más frecuentes son: angina diftérica, angina diftérica maligna, rinitis diftérica y laringitis. Dado que el contagio puede tener lugar por vía directa y por vía indirecta, son obligados tanto el aislamiento del enfermo como la comunicación de la enfermedad a las autoridades sanitarias para que tomen las medidas preventivas necesarias.

Véase **Enfermedades infecciosas**

# Digestión

leche

carne (proteínas)

grasas (lípidos)

azúcares
(hidratos de carbono)

estómago

sustancias introducidas
con la alimentación

azúcares
más simples

grasas

moléculas
de caseína
coagulada

vitamina $B_{12}$

factor
intrínseco

peptona

La digestión es un proceso importante, durante el cual los hidratos de carbono son absorbidos por el aparato intestinal. La digestión se desarrolla en el tubo gastrointestinal a través de varias fases. Comienza en la boca, continúa a través del esófago, el estómago y el intestino y finaliza con la eliminación de las heces.

**La digestión en la boca, en la garganta y en el esófago** En realidad, en la boca tiene lugar sólo una pequeña parte del proceso de la digestión. Por medio de la masticación, el alimento es desmenuzado y mezclado con la saliva y el moco, sustancias segregadas por las glándulas salivales.

La transformación del almidón en azúcar comienza con la acción de la amilasa, un enzima presente en la saliva. El organismo produce cerca de un litro de saliva al día; la saliva desempeña una importante función debido a que no sólo inicia el proceso digestivo y lubrifica el alimento, sino que sirve también de limpieza para la boca y los dientes.

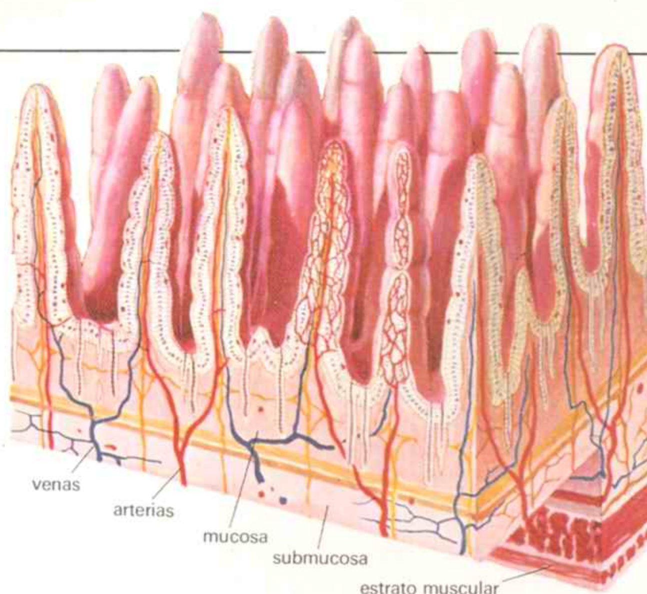
A continuación, el alimento desciende a lo largo del esófago, en donde tiene lugar la segunda fase de la deglución, en gran parte a través de movimientos voluntarios. El descenso del alimento a lo largo del esófago está originado por un movimiento llamado peristáltico, que está determinado por una serie de contracciones y relajaciones sucesivas de la musculatura esofágica. La contracción comienza en la garganta y se transmite al esófago: el alimento alcanza así el estómago en unos diez segundos.

**La digestión en el estómago** Las paredes del estómago son muy elásticas, de modo que pueden albergar distintas cantidades de alimento. En el estómago los alimentos se mezclan con el jugo gástrico antes de ser sometidos a un ulterior proceso de transformación que tiene lugar en el intestino. La mucosa del estómago segrega cerca de dos litros de jugo gástrico al día. Entre los principales componentes del mismo encontramos la pepsina, que actúa sobre las proteínas, y el ácido clorhídrico, que colabora con la acción de la pepsina acidificando el ambiente gástrico. En los niños está presente también la renina (o quimosina), que ayuda a digerir la leche. El jugo gástrico rompe las partículas de alimento, iniciando la digestión de las proteínas y transformando los alimentos en una sustancia parcialmente digerida, denominada *quimo*. Los azúcares simples y el alcohol no permanecen en el estómago durante mucho tiempo, puesto que son rápidamente absorbidos por las paredes del estómago. La mayor parte de las otras sustancias pasa al intestino bajo la forma de quimo.




La digestión es la transformación del alimento, a través de procesos químicos, en elementos utilizables con fines plásticos y energéticos en el organismo. Las sustancias que se ingieren pertenecen a tres grandes grupos: proteínas, hidratos de carbono y grasas. La leche, como alimento completo, puede considerarse aparte. En el estómago tienen lugar procesos digestivos, sobre todo los que afectan a las proteínas, y se inicia también la digestión de los hidratos de carbono.

La digestión en el intestino tiene lugar merced a la intervención y a la cooperación de un conjunto de sustancias: enzimas, hormonas y sales biliares. El alimento, al final de la digestión gástrica, tiene un aspecto más o menos cremoso, particularmente apto para ser atacado por potentes enzimas intestinales. La función del factor intrínseco, sustancia compleja segregada por la mucosa gástrica, es unirse a la vitamina $B_{12}$ introducida con las proteínas, con lo cual esta proteína puede desarrollar su típica acción antianémica.




**La digestión en el intestino** En el hombre, el intestino delgado es la parte donde se desarrolla principalmente el proceso digestivo. En el intestino delgado el quimo es ulteriormente transformado. Las sustancias segregadas en esta parte del intestino proporcionan todos los elementos necesarios para la digestión, y las sustancias nutritivas son absorbidas por el organismo a través de la pared intestinal. La pared interna del intestino delgado presenta innumerables pliegues. Esta particular conformación anatómica tiene por objeto aumentar considerablemente la superficie absorbente del intestino. La superficie real del intestino de un adulto es de unos 200 $m^2$. El duodeno, es decir, la primera porción del intestino delgado, utiliza los jugos digestivos segregados por el páncreas y la bilis liberada de la vesícula biliar para actuar sobre el quimo. Tales jugos comprenden varias sustancias clave, como la lipasa pancreática, que transforma las grasas complejas en elementos más simples y fácilmente absorbibles, y la amilasa pancreática, que continúa la digestión de los hidratos de carbono. La tripsina y la quimotripsina actúan sobre las proteínas íntegras o parcialmente digeridas, formando aminoácidos.

Son necesarias unas seis horas para que tenga lugar el proceso de la digestión de un alimento medio en el intestino delgado, proceso que determina la absorción de las sustancias nutritivas hacia la sangre y el sistema linfático.

Véase **Digestivo, aparato; Enzimas; Hígado; Intestino**

La bilis, si bien no tiene una verdadera función digestiva, desempeña un papel esencial en la absorción de las grasas debido a que contiene las sales biliares que actúan como potentes emulsionantes; esto favorece la escisión de las grasas en partículas pequeñas con objeto de facilitar la acción de la lipasa pancreática. En lo que respecta a la leche, las moléculas de caseína experimentan en el estómago un proceso de coagulación y de precipitación. Una vez alcanzado el intestino, son atacadas por los enzimas proteolíticos contenidos en el jugo pancreático y se escinden en unidades más pequeñas. La absorción tiene lugar por acción de las vellosidades intestinales, camino de los vasos sanguíneos y de los vasos quilíferos.

el alimento parcialmente digerido por los enzimas pasa al intestino

quimo

páncreas

hígado

jugo pancreático

glicerina y ácidos grasos

sales biliares

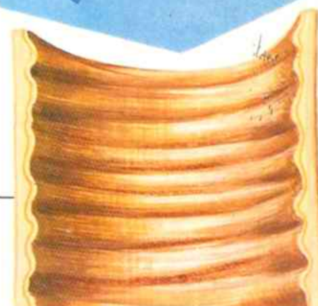
disacáridos y monosacáridos

estimuladores químicos

duodeno

polipéptidos y aminoácidos

quilo



absorción en las vellosidades intestinales

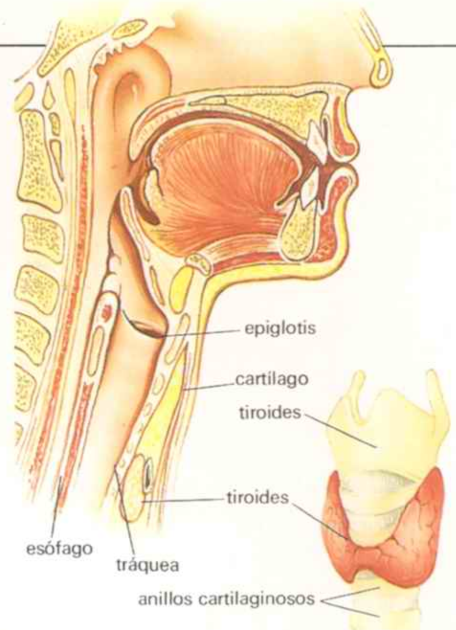
# Digestivo, aparato

El camino que los alimentos recorren en nuestro organismo se denomina *tubo digestivo*. El aparato digestivo está formado por varios órganos distintos cuya función es la de transformar y absorber los alimentos.

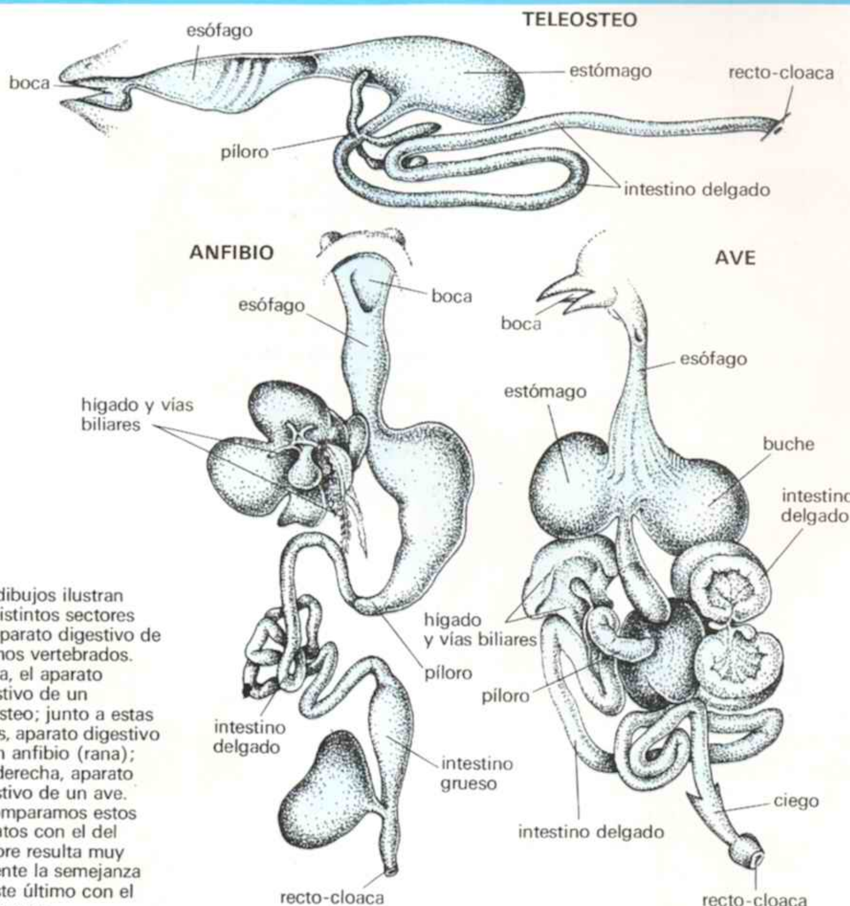
**La boca, la garganta y el esófago** El tubo digestivo, o *tracto gastrointestinal*, comienza en la boca, donde se mastica el alimento gracias a la acción de los dientes y se mezcla con la saliva. A través de los labios se penetra en la cavidad bucal, y de aquí puede pasarse a la faringe. Las paredes laterales de la cavidad bucal están constituidas por tejido muscular revestido en su parte externa por la piel y en su parte interna por mucosa. La piel de las mejillas se interrumpe en los labios, desde los que se tiene acceso a la cavidad bucal: la zona roja de los labios, llamada *ribete bermejo*, es el punto que marca el límite entre la piel y la mucosa. La parte superior de la cavidad bucal está constituida por el *paladar duro*, formado por un plano óseo situado anteriormente, y por el *paladar blando*, situado en la parte posterior y formado por musculatura en ausencia de plano óseo. La parte inferior, o *suelo de la cavidad oral*, está constituida principalmente por musculatura que encuentra sus inserciones en el hueso mandibular. Sobre la musculatura del suelo de la boca se inserta una estructura muscular móvil: la *lengua*.

Con la deglución empujamos el alimento de la boca a la faringe y posteriormente al esófago. La *faringe* tiene una forma de embudo de cerca de 7,5 cm de largo y de 5 cm de ancho en su parte inicial, mientras que en el punto en que se une al esófago se estrecha hasta medir cerca de 2,5 cm de diámetro. El *esófago* es más largo, mide aproximadamente 25 cm de longitud por unos 4 cm de anchura, y se divide en tres porciones: cervical, torácico y abdominal. Sus paredes están formadas por músculos especialmente dispuestos para impulsar el alimento a una zona denominada *cardias*, donde se une con el estómago.

**El estómago y el intestino** La capacidad del estómago humano es de alrededor de 1.200 cm$^3$, pero sus dimensiones pueden variar considerablemente según la fase de la digestión en que se encuentre. El estómago está situado a la izquierda, en la parte superior del abdomen, y tiene forma de saco redondeado en su parte más alta, más aplanado en su zona central, y termina en forma de cono. Recibe del esófago los alimentos sólidos y líquidos y los mezcla con los jugos gástricos; sus paredes están interiormente revestidas por una mucosa absorbente, rica en pequeñas glándulas que segregan ácido clorhídrico y pepsina. Desde el estómago el material líquido pasa al intestino delgado. Las paredes del intestino delgado presentan pequeñas evaginaciones o salientes en forma de dedo, llamadas *vellosidades*, cuya función es absorber las sustancias nutritivas suministradas por la digestión. Cada vellosidad posee, a su vez, otras evaginaciones más pequeñas (las *microvellosidades*), gracias a las cuales la superficie de la pared intestinal se incrementa en unas 25 veces.




La boca es la puerta de entrada común tanto para el alimento como para el aire de la respiración. El esófago se encuentra detrás de la tráquea; la laringe precede a la tráquea y su parte anterior está formada por el cartílago tiroides. La epiglotis se encuentra unida a este cartílago. El bolo alimenticio, es decir, el alimento mezclado con la saliva, es impelido por la lengua hacia la faringe. Durante la deglución el paladar blando cierra la entrada a las fosas nasales, la epiglotis y la glotis.

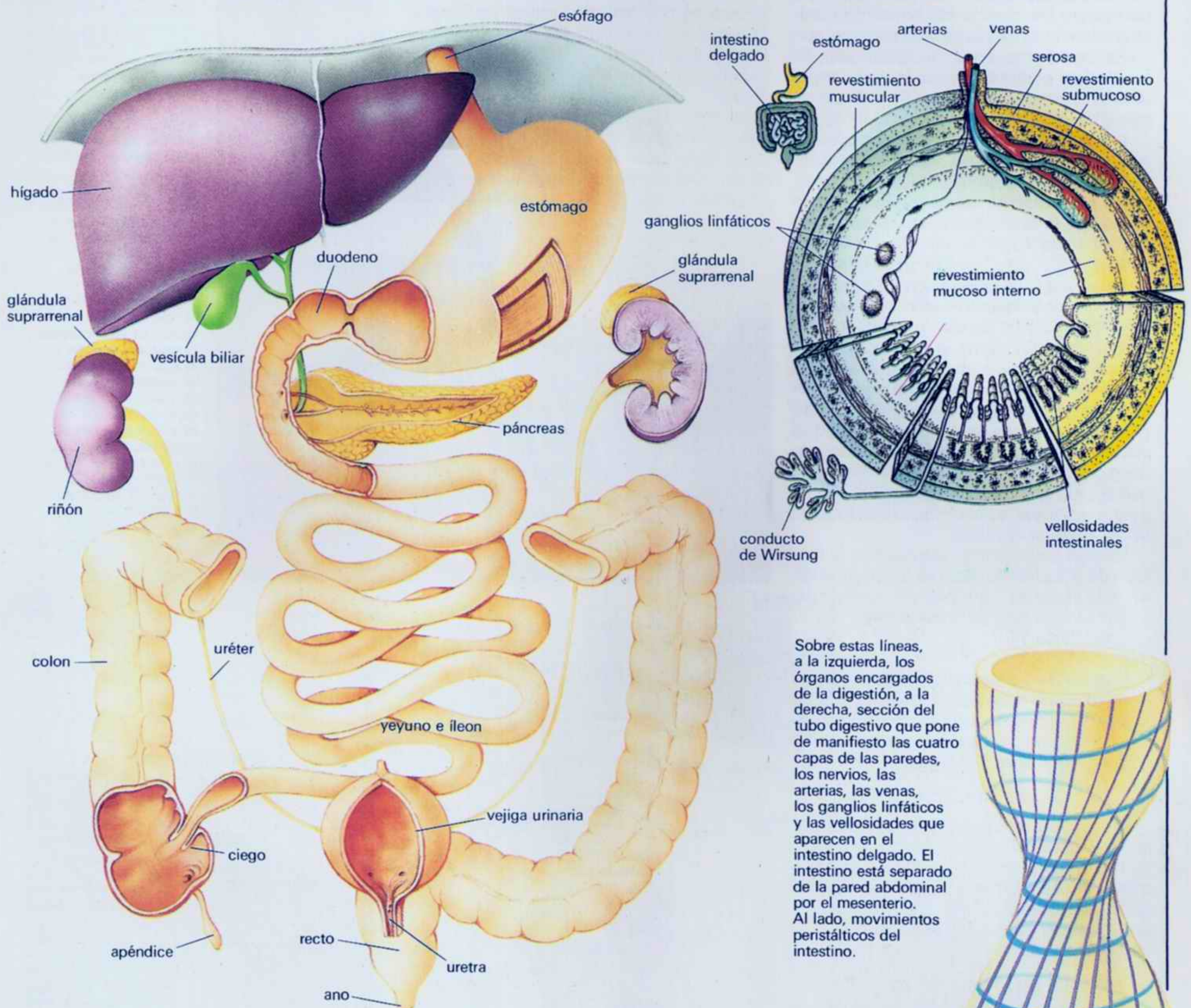



Los dibujos ilustran los distintos sectores del aparato digestivo de algunos vertebrados. Arriba, el aparato digestivo de un teleósteo; junto a estas líneas, aparato digestivo de un anfibio (rana); a la derecha, aparato digestivo de un ave. Si comparamos estos aparatos con el del hombre resulta muy evidente la semejanza de este último con el de las aves.

El intestino grueso actúa sobre los líquidos, absorbiendo el agua que no ha absorbido el intestino delgado. Se denomina también *colon* y se divide en: *ciego*, parte inicial provista del apéndice vermiforme; *colon ascendente*, la segunda parte del intestino grueso, que avanza de abajo hacia arriba hasta la parte inferior del hígado; *colon transverso*, situado a la altura de la décima costilla y con un recorrido horizontal de derecha a izquierda; *colon descendente*, que va de arriba a abajo pasando por delante del riñón izquierdo; *colon sigmoideo*, última porción del intestino grueso, antes del recto, que presenta un recorrido tortuoso.

**Organos asociados al sistema digestivo** Existen varios órganos implicados en la función digestiva. Uno de ellos es el *páncreas*, una glándula indispensable para la vida, que se encuentra situado por detrás del estómago y que segrega bicarbonato para neutralizar los ácidos del estómago, y ciertos enzimas necesarios para

Los órganos encargados de la digestión tienen la misión de transformar el alimento, durante el proceso digestivo, en sustancias absorbibles en el intestino. El bolo alimenticio pasa desde la boca, a través del esófago, al estómago, donde es digerido en parte transformándose en quimo. El quimo alcanza el duodeno y la primera parte del intestino delgado, la zona que recibe la bilis segregada por el hígado y almacenada en la vesícula biliar, y los enzimas segregados por el páncreas. La mayor parte de la absorción tiene lugar en el yeyuno y en el íleon, la parte restante del intestino delgado. Los residuos alimenticios pasan al ciego, al comienzo del intestino grueso. Las heces se forman en el colon y se almacenan en el recto. Muchos productos de desecho son filtrados de la sangre a través de los riñones. La orina, el producto de tal filtrado, pasa por los uréteres a la vejiga antes de su expulsión por la uretra. El páncreas segrega tripsina y quimotripsina —enzimas que actúan sobre las proteínas—, amilasa —que actúa sobre los hidratos de carbono— y lipasa —que lo hace sobre las grasas. Se ha calculado que en el transcurso de 24 horas se filtran cerca de 200 litros de líquido en el organismo humano.




Sobre estas líneas, a la izquierda, los órganos encargados de la digestión, a la derecha, sección del tubo digestivo que pone de manifiesto las cuatro capas de las paredes, los nervios, las arterias, las venas, los ganglios linfáticos y las vellosidades que aparecen en el intestino delgado. El intestino está separado de la pared abdominal por el mesenterio. Al lado, movimientos peristálticos del intestino.

la digestión. El páncreas libera, además, dos hormonas, la insulina y el glucagón, que regulan el metabolismo de los hidratos de carbono.

También es importante la función del *hígado*, la glándula más voluminosa del cuerpo humano, que tiene a su cargo numerosos cometidos: producir la bilis, líquido verdoso que facilita la digestión de las grasas en el intestino delgado; producir proteínas para la coagulación de la sangre; destruir los glóbulos rojos ya envejecidos; almacenar hidratos de carbono, grasas y proteínas, y facilitar la salida del organismo de sustancias tóxicas.

La *vesícula biliar* desempeña la función de depósito de bilis; la mucosa que la recubre recuerda en cierto modo a la del intestino delgado, dado que presenta numerosas elevaciones en forma de crestas salientes, similares a vellosidades. Su función es concentrar la bilis, eliminando el agua; no obstante, si esa concentración tiene lugar de manera excesiva puede ocurrir que se formen cálculos y será entonces necesaria una intervención quirúrgica para extirpar la vesícula biliar.

Véase **Digestión; Metabolismo**

# Digitalización

Los ordenadores modernos son computadoras digitales, es decir, su forma de funcionar se basa en partes elementales que admiten un número discreto de estados (en la práctica, dos) y cuyo comportamiento se puede representar por un sistema numérico de tantas cifras como estados. Un sistema numérico de este tipo (el sistema de numeración binario) permite realizar todo lo que se puede hacer con el sistema decimal que se utiliza habitualmente, incluida la codificación de informaciones de todo tipo (no sólo las numéricas).

A pesar de que los ordenadores tratan la información en forma discreta, la mayor parte de los fenómenos del mundo natural se producen de forma continua, como por ejemplo la temperatura de una habitación, que no pasa de un salto de 20 a 21 grados, sino que cambia gradualmente, pasando por todos los valores intermedios posibles. Un dispositivo eléctrico o electrónico analógico capaz de medir magnitudes continuas como la presión, la temperatura u otras, produce a su salida una corriente o una tensión eléctrica proporcional a la magnitud medida. Se puede pensar en introducir la información que aporta este dispositivo en un proceso industrial. Sin embargo, el ordenador no puede aceptar señales eléctricas continuas, por lo que es necesario transformarlas en señales digitales.

Existen dispositivos que realizan la función de transformar señales analógicas en señales digitales, que por ese motivo reciben el nombre de *conversores analógico-digitales*.

**Sistema de numeración binario** El sistema decimal tiene diez cifras, del cero al nueve, que cuando forman un número representan con su posición las sucesivas potencias de diez: 136 significa

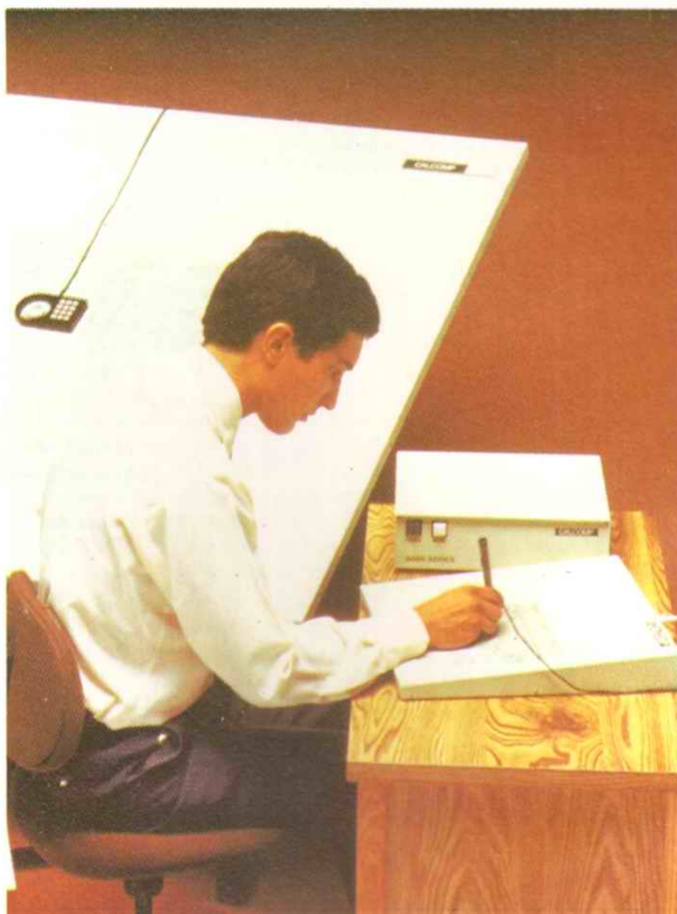
$$6 \times 10^0 + 3 \times 10^1 + 1 \times 10^2.$$

El mismo principio que se aplica en el sistema decimal con la base 10 se puede aplicar a cualquier base, siendo la más pequeña la base 2, que nos da el sistema binario, con dos cifras, el 0 y el 1. En un número binario cada cifra indica una potencia de 2: 101 será

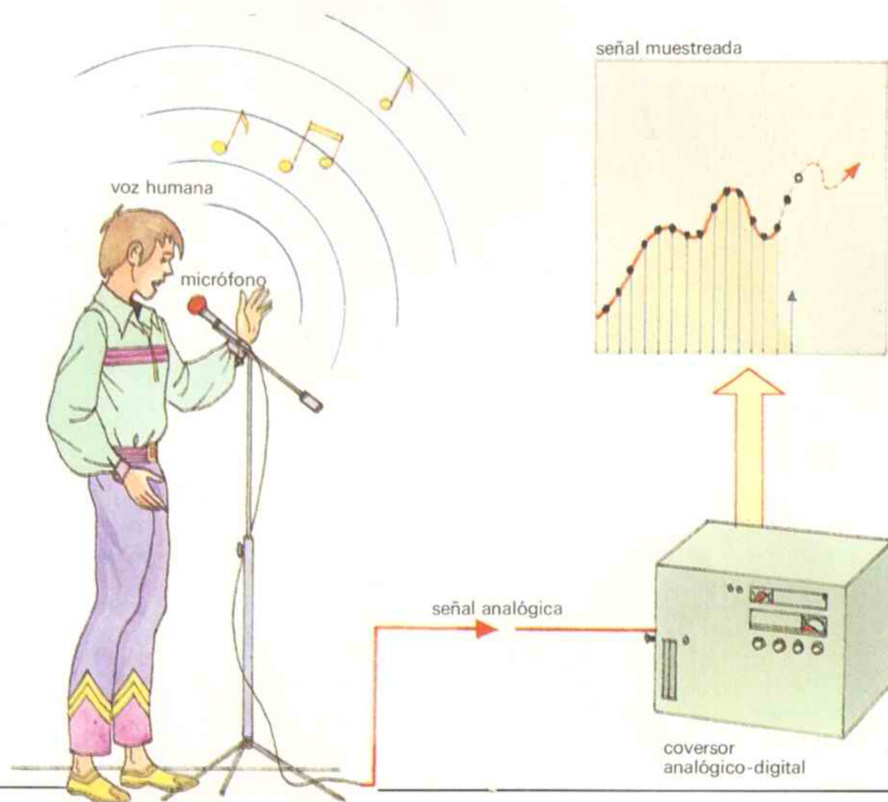
$$1 \times 2^0 (=1 \times 1=1) + 0 \times 2^1 (=0) + 1 \times 2^2 (=4).$$

Por tanto en este sistema de numeración el 2 decimal se representará por 10, el 3 será 11, el 4 se convertirá en 100, el 5 en 101, y así sucesivamente.

Las letras también se pueden representar con números binarios, de la misma forma que se puede asociar a cada una de ellas un número decimal. En el interior de un ordenador todas las señales digitales son señales eléctricas que se interpretan según el valor de una tensión: así por ejemplo, tensiones entre 0 y 1 voltio se interpretan como un cero lógico y tensiones entre 2 y 5 voltios por un uno lógico. Una señal eléctrica formada por impulsos de tensión que varían entre los dos intervalos podrá representar por tanto secuen-



El instrumento que permite pasar un producto típicamente analógico, como es un dibujo, a forma digital incluye un conversor analógico-digital. Sobre el tablero de la fotografía existe una rejilla de rayas verticales y horizontales muy próximas. Sobre este tablero se coloca un dibujo y; una vez definidas las coordenadas de partida, se puede explorar el dibujo con el dispositivo visible a la izquierda, que registra todos los puntos en los que el dibujo intercepta a la rejilla del tablero. Las coordenadas numéricas de cada punto se envían a un ordenador, permitiendo la memorización del dibujo en forma digital. El tablero pequeño en el que está trabajando el operador permite que el trabajo sea más fácil; se puede elegir una forma geométrica entre las de una lista, por ejemplo una recta, y entonces es suficiente indicar con el lápiz luminoso los extremos de un segmento y la máquina memoriza todos sus puntos.



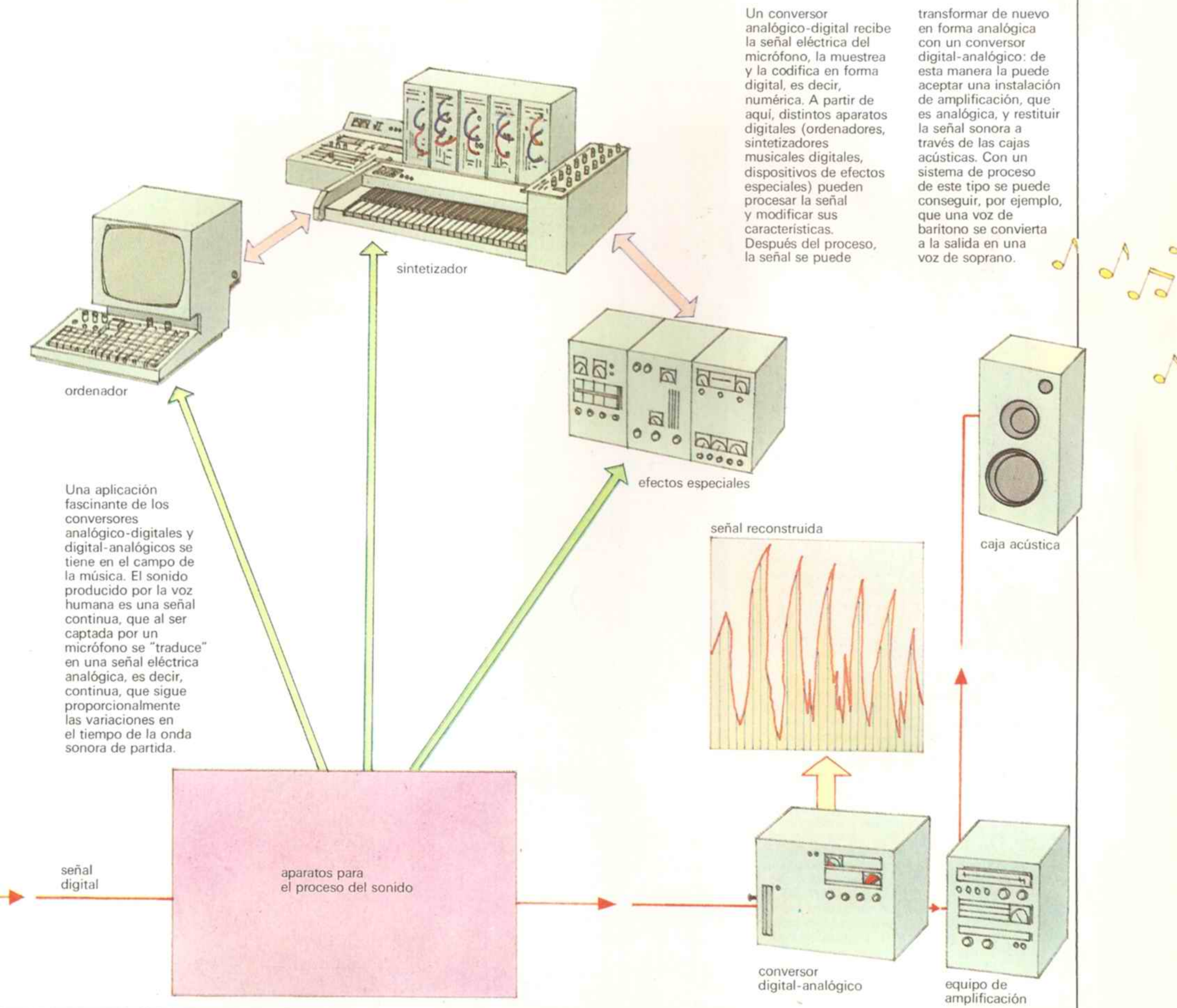
cias de números binarios. La misión de un conversor analógico-digital es transformar una señal eléctrica analógica, es decir, que varía con continuidad, en una señal eléctrica que pueda variar solamente entre dos valores de tensión distintos.

**Conversión analógica-digital** El proceso fundamental en la conversión de una señal analógica en una digital es la realización de un "muestreo" periódico de la señal analógica, es decir, tomar de la curva continua una serie de puntos a intervalos regulares de tiempo (que pueden ser de segundos, décimas o milésimas de segundo según la frecuencia de la señal que se está convirtiendo). Una vez que se ha muestreado la señal, el paso siguiente es la cuantificación de cada una de las muestras, en la que se asocia a cada valor de amplitud un número determinado. Después, a través de la codificación se asocia a cada número una secuencia de impulsos binarios.

Como resulta lógico pensar, el muestreo se debe realizar con intervalos de tiempo de separación entre muestras lo suficientemente cortos para que la señal digital obtenida represente bien a la analógica, de forma que ésta se pueda reconstruir posteriormente.

Una vez que las señales están en forma digital, el ordenador (o cualquier otro dispositivo digital) las puede procesar rápidamente y con fiabilidad; además, en la transmisión de señales digitales se registra muy poca distorsión de la señal, porque los dos niveles de tensión se pueden detectar estableciendo un umbral y se pueden reconstruir tantas veces como se quiera. En muchos casos es necesario obtener una señal analógica a partir de una señal digital, para lo que existen dispositivos llamados *conversores digital-analógico*, que tienen la función inversa respecto a los conversores descritos hasta aquí. De esta forma se puede recoger una señal analógica, convertirla en digital para transmitirla sin distorsión y en el receptor volver a obtener la señal analógica de partida.

Véase **Ordenador; Sistema de numeración**




Un conversor analógico-digital recibe la señal eléctrica del micrófono, la muestrea y la codifica en forma digital, es decir, numérica. A partir de aquí, distintos aparatos digitales (ordenadores, sintetizadores musicales digitales, dispositivos de efectos especiales) pueden procesar la señal y modificar sus características. Después del proceso, la señal se puede transformar de nuevo en forma analógica con un conversor digital-analógico: de esta manera la puede aceptar una instalación de amplificación, que es analógica, y restituir la señal sonora a través de las cajas acústicas. Con un sistema de proceso de este tipo se puede conseguir, por ejemplo, que una voz de barítono se convierta a la salida en una voz de soprano.

Una aplicación fascinante de los conversores analógico-digitales y digital-analógicos se tiene en el campo de la música. El sonido producido por la voz humana es una señal continua, que al ser captada por un micrófono se "traduce" en una señal eléctrica analógica, es decir, continua, que sigue proporcionalmente las variaciones en el tiempo de la onda sonora de partida.

# Dilatación térmica

La materia en sus tres estados, sólido, líquido y gaseoso, está constituida por un conglomerado de moléculas en continuo movimiento. Al suministrar energía en forma de calor a un cuerpo, ésta se distribuye entre las moléculas aumentando sus vibraciones y distancias intermoleculares, lo que se manifiesta en una elevación de la temperatura y en un aumento de volumen o *dilatación térmica* del cuerpo.

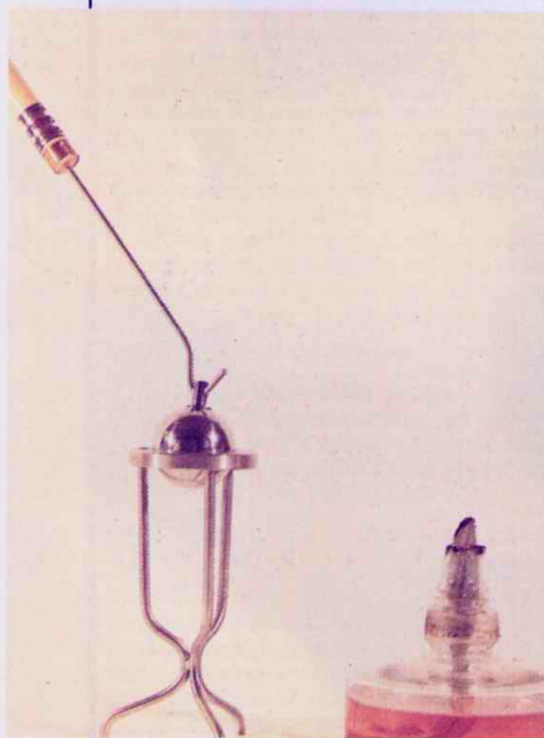
Para un mismo aumento de temperatura, las diferentes sustancias experimentan dilataciones muy distintas, que dependen de la intensidad de las fuerzas de cohesión de sus moléculas. Estas fuerzas son mucho más intensas en los sólidos que en los líquidos, y prácticamente inexistentes en los gases, lo que confiere a cada estado propiedades específicas que obligan a su estudio por separado.

**Dilatación de los sólidos** Cuando se calienta un sólido, se dilata en todas las direcciones de forma proporcional al incremento de temperatura, a sus dimensiones, y a un coeficiente (denominado *de dilatación lineal)* que es propio de cada sustancia y representa la variación relativa que experimenta su longitud cuando se eleva la temperatura un grado. Aunque los coeficientes de dilatación tienen valores muy bajos (un aumento de 8 °C en la temperatura de una barra de acero de 10 m hará crecer su longitud en 1 mm), la falta de compresibilidad de los sólidos hace que el estudio de estos coeficientes sea muy importante en ingeniería, a fin de evitar en las estructuras metálicas fatiga de origen térmico que pueda sobrepasar el límite de elasticidad e incluso el de ruptura.

El coeficiente de dilatación de una aleación depende de su composición, y a veces puede ser muy inferior al de los metales que lo constituyen. Tal es el caso del *invar* (aleación de acero y níquel), que se dilata once veces menos que el acero, por lo que se emplea en la fabricación de reglas e instrumentos de precisión.

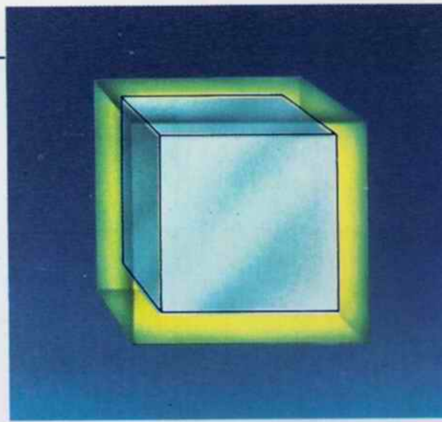
En la distinta dilatación térmica de los metales se fundamentan los sensores de los termostatos y termómetros bimetálicos. Básicamente, consisten en dos láminas unidas entre sí y con un extremo fijo. El mayor incremento de longitud de una respecto a la otra al calentarse hace que el conjunto se arquee en un sentido o en otro. Un mecanismo multiplicador acoplado al extremo libre mueve una aguja sobre un limbo graduado, o acciona un contacto eléctrico.

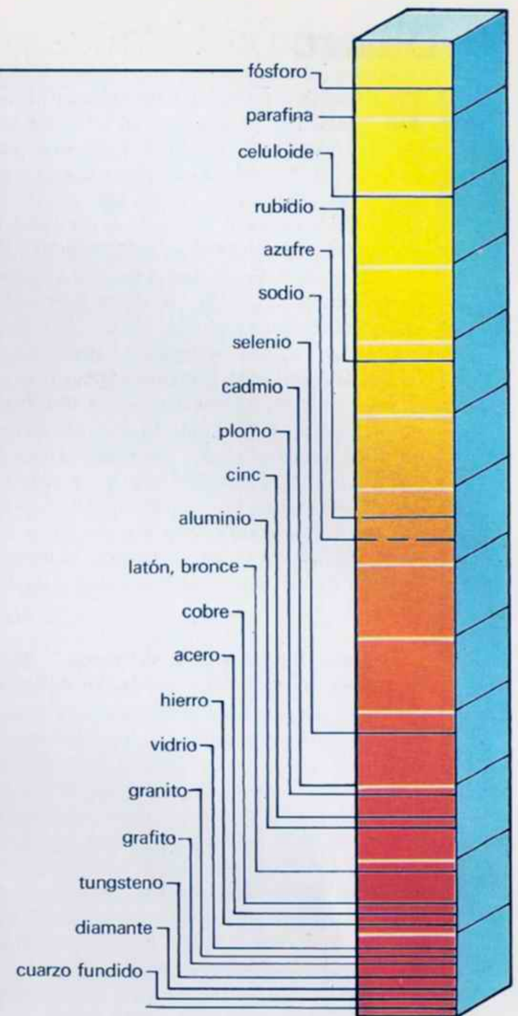
**Dilatación de los líquidos** El aumento de volumen que experimentan los líquidos al calentarse suele ser dos órdenes de magnitud superior al de los sólidos. Su medida precisa reviste especiales dificultades, ya que el recipiente que lo contenga también se dilatará al ser recalentado, enmascarando el valor real de la dilatación térmica del líquido. En los barómetros de mercurio, las lecturas de la presión atmosférica son corregidas de las dilata-



La mayoría de los cuerpos, cualquiera que sea su estado físico, se dilatan cuando se calientan. En las fotografías, mediante algunos experimentos clásicos, se muestra esta propiedad de la materia para el caso de cuerpos sólidos. Arriba, el anillo de Gravesande, una esfera metálica y una anilla de dimensiones tales que, en condiciones normales, permiten el paso de la esfera sin ninguna dificultad aunque de forma ajustada. Al calentar ésta de forma independiente, su volumen aumenta lo suficiente para que ya no pueda pasar. A la derecha, otro experimento clásico: un hilo conductor, con uno de sus extremos fijo, pasa por una polea y se mantiene tenso por un peso que cuelga del extremo opuesto. El calentamiento que se produce al hacer circular por él una corriente eléctrica origina un aumento de longitud del hilo, que se visualiza por el movimiento del índice que gira solidario a la polea.








Sobre estas líneas se puede ver cómo se instalaban antiguamente las vías de los ferrocarriles; la pequeña separación entre ellas producía el clásico traqueteo y permitía la dilatación durante el verano sin deformar los raíles. En la actualidad unas juntas de dilatación de aleaciones especiales evitan en lo posible estas discontinuidades en los tendidos de vías. A su derecha, el cubo muestra cómo un cuerpo sólido homogéneo se dilata por igual en todas direcciones, esto hace que al variar su temperatura resulte siempre una figura geométrica semejante. El coeficiente de dilatación cúbica es el triple que el coeficiente de dilatación lineal. A la derecha, los coeficientes de dilatación térmica de varios sólidos. Cada división de la columna representa una longitud de 10 micras. Sobre ellas se indican las dilataciones experimentadas por una varilla de un metro de longitud cuando su temperatura se eleva 1 °C.

ciones del vidrio o latón del recipiente y del propio mercurio mediante unas tablas suministradas por el fabricante.

Como los líquidos se dilatan apreciablemente al ser calentados, es posible establecer con facilidad una correspondencia biunívoca entre la temperatura y su aumento de volumen, de ahí su empleo preferente en la fabricación de termómetros. Al tener lugar la variación de volumen dentro de un tubo capilar largo y bien calibrado, ésta se traduce en un aumento de la longitud que ocupa el líquido en el capilar. Los termómetros más corrientes utilizan mercurio o alcohol coloreado, este último especialmente recomendado para bajas temperaturas.

**La peculiar dilatación del agua** Cuando se enfría agua, su volumen disminuye regularmente como en cualquier otro líquido, salvo en el intervalo comprendido entre 4 y 0 °C, en el que cambia su comportamiento, aumentando de volumen al descender la temperatura. Esto se explica por la especial configuración molecular del agua en estado líquido, incompatible con la estructura cristalina del hielo.

El comportamiento anómalo del agua desempeña un importante papel en la Naturaleza, impidiendo que los ríos y lagos se hielen hasta el fondo durante el invierno.

**Dilatación de los gases** Debido a que las fuerzas intermoleculares en un gas son muy débiles, su coeficiente de dilatación térmica es varias veces superior al de los líquidos, y cientos de veces al de los sólidos. Este fue calculado experimentalmente por Gay-Lussac, y es el mismo para todos los gases, lo que contrasta con los amplios abanicos de valores que presentan los coeficientes de dilatación en los líquidos y especialmente en los sólidos. Sin embargo, mientras que en los sólidos la presión no ejerce ninguna influencia y en los líquidos ésta sólo es pequeña, en los gases existe una fuerte dependencia. Hasta tal punto que para calcular la dilatación que experimenta un gas al elevar su temperatura, es necesario conocer en qué condiciones de presión ha tenido lugar el proceso.

Véase **Agua; Interferencia e interferometría**

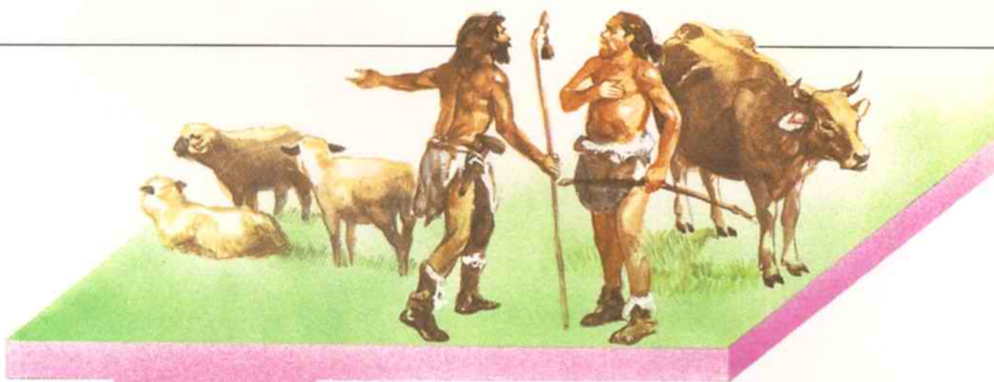
A la izquierda, una pequeña columna de parafina parcialmente sumergida en un líquido sostiene una lente convexa en la que se aprecian los anillos de Newton; al calentar el líquido, la temperatura de la parafina aumenta y los movimientos de los anillos revelan la dilatación de la columna.

# Dinero

El hombre empezó sus transacciones mediante el trueque, el intercambio de una mercancía por otra. Esclavos, pólvora negra, bueyes, elefantes y hasta huesos de mandíbula de cerdo han sido utilizados como medio de pago o de cambio en alguna de las épocas de la historia de la Humanidad. En algunos pueblos primitivos actuales todavía perviven formas de economía elemental que basan sus transacciones en la utilización de plumas (Nuevas Hébridas), piedras (de las que se sirven los habitantes de la isla de Yap), etc. La sal ha sido utilizada durante siglos en Etiopía como medio de intercambio. El cráneo humano, considerado muy valioso, servía como patrón monetario en el siglo XIX en Borneo, así como los cerdos y los cocos tenían en muchas culturas la misma función que el oro o las monedas y los billetes de banco.

**Dinero: definición y orígenes** Muy brevemente, el dinero puede ser definido como el medio de intercambio utilizado para establecer precios y deudas de pago, así como para obtener mercancías y servicios. Como valor en circulación, es utilizado bajo forma de billetes de banco, certificados de papel y monedas. La adopción de los metales en sustitución de las mercancías supuso un gran avance en el sistema de intercambio. Se impusieron, sobre todo, el oro y la plata, que fueron la materia prima de monedas frecuentemente agujereadas de tal manera que podían ser ensartadas y usadas como joyas.

Los nombres utilizados para algunas de las primeras monedas representaban cantidades. Por ejemplo, el *dracma* (unidad monetaria griega) era un término que significaba "puñado" —habitualmente de clavos de hierro—. La *libra esterlina* inglesa, la *lira* italiana y el *rublo* ruso eran términos que servían también para medir diferentes objetos. La *peseta* era en su origen una medida de peso, constituida por una pieza de cinco gramos hecha de una aleación de 900 milésimas de plata y 100 de cobre. También es evidente el origen del *peso* utilizado en Argentina, México, Colombia, Costa Rica, Cuba, Paraguay y Uruguay.



Históricamente el dinero surgió para sustituir, al menos parcialmente, al trueque (el intercambio de una mercancía por otra). Ese intercambio era necesario para disponer de mercancías útiles cuando no podían ser producidas, mientras que se producían abundantemente otras. El valor de cambio se establecía cada vez según la disponibilidad.



El segundo estadio del nacimiento del concepto de dinero ha sido aquel en el cual, debido a la frecuencia de los intercambios, el hombre vio la necesidad de utilizar un bien como intermediario para todas sus transacciones: así, fueron primero barras de sal, ganado, hachas, etc., hasta utilizar los metales.













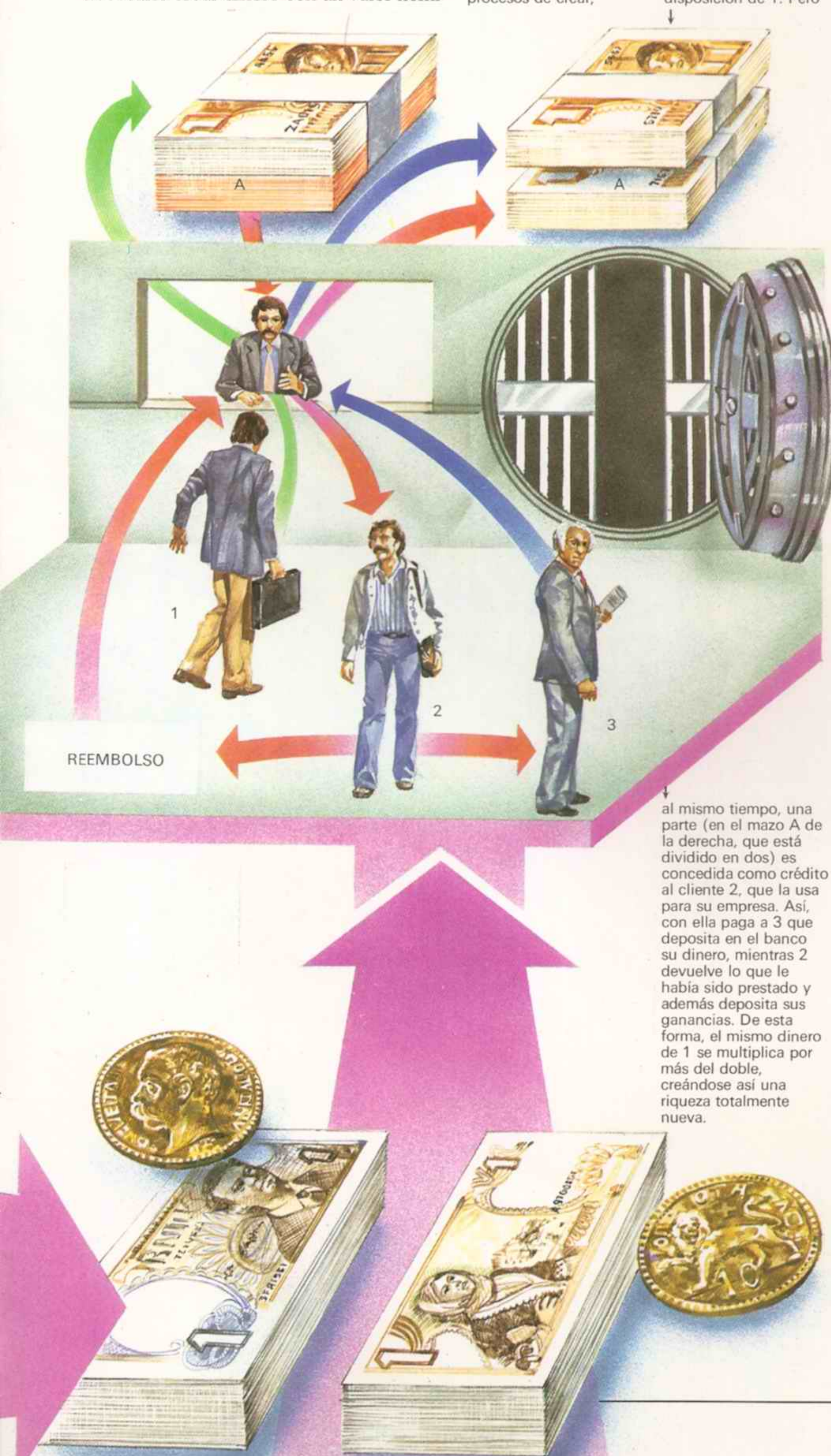




**Patrones monetarios** Con el desarrollo de las relaciones económicas y el consiguiente aumento de los intercambios, la cantidad de metales preciosos monetarios empezó a resultar insuficiente para cubrir las necesidades cambiarias. Fue entonces necesario crear dinero con un valor nominal mayor que el valor del metal que contenía. Se abandonaba así el *dinero mercancía* por el *dinero signo*, en forma de billete de banco, que acabaría por imponerse y ser la forma básica de dinero. Con posterioridad, la creación de billetes bancarios fue regulada por el Estado, que la centralizó en manos de un solo banco, que, aunque privado, obedecía sus órdenes; posteriormente en casi todos los países ha sido nacionalizado.

El *dinero efectivo* o *dinero común* comprende la moneda fraccionaria y el dinero papel (que puede ser convertible en metal o inconvertible). La convertibilidad del dinero papel puede tener distintas modalidades, cada una de las cuales origina diferentes formas de lo que ha dado en llamarse *patrón oro*.

En el *patrón moneda oro*, el oro circula como medio de pago en forma de moneda. Fue la primera forma de patrón oro y se utilizó hasta 1914. En el *patrón lingote oro* el dinero papel es convertible únicamente en lingotes de oro, que se utilizan normalmente para pagos exteriores. Finalmente, el *patrón cambios oro* es el sistema en el que el dinero papel de un país es sólo convertible en una moneda extranjera que a su vez es convertible en oro según una relación de cambio determinada. Cuando el dinero papel es inconvertible, existe el llamado *patrón moneda inconvertible*; en él el dinero está desprovisto de base metálica. Este es el patrón existente en la actualidad.




En la sociedad moderna, el sistema financiero está constituido por un conjunto de entidades privadas y públicas que actúan como motores o intermediarios en los procesos de crear, conservar, transmitir, prestar, etc. El señor 1 lleva al banco su dinero. El cajero deposita sus billetes A en la caja fuerte del banco. Aquí permanecen a disposición de 1. Pero al mismo tiempo, una parte (en el mazo A de la derecha, que está dividido en dos) es concedida como crédito al cliente 2, que la usa para su empresa. Así, con ella paga a 3 que deposita en el banco su dinero, mientras 2 devuelve lo que le había sido prestado y además deposita sus ganancias. De esta forma, el mismo dinero de 1 se multiplica por más del doble, creándose así una riqueza totalmente nueva.

**Funciones del dinero** La función más notoria del dinero es la de ser un medio de intercambio; las mercancías y los servicios se obtienen pagándolos con dinero y las deudas se establecen bajo forma de unidades monetarias. Consecuentemente, el valor del dinero es un reflejo del valor de las mercancías y servicios que se pueden adquirir con el mismo. Además el dinero sirve de medida del valor de los bienes: funciona como unidad de cuenta, permitiendo las comparaciones de valor entre ellos. Se convierte así en un instrumento de cálculo y favorece la racionalidad económica. Por último, el dinero es una reserva de valor: el dinero es el único capital completamente líquido (es decir, disponible inmediatamente). Los efectivos se pueden usar en cualquier momento; consecuentemente sirven como reserva disponible para la adquisición inmediata. Muchas personas tienen parte de su capital, o *dinero disponible*, en cuentas bancarias donde reciben intereses, es decir, porcentaje pagado por el banco por el uso de los fondos.

Cuando aumenta la oferta de dinero disponible en un país, no resulta necesariamente un mayor bienestar. El aumento del dinero en circulación hace que su precio se reduzca; y como el precio del dinero es la inversa del nivel general de precios, ello significa que los precios suben, es lo que se conoce como *inflación*.

Véase **Monedas, acuñación**

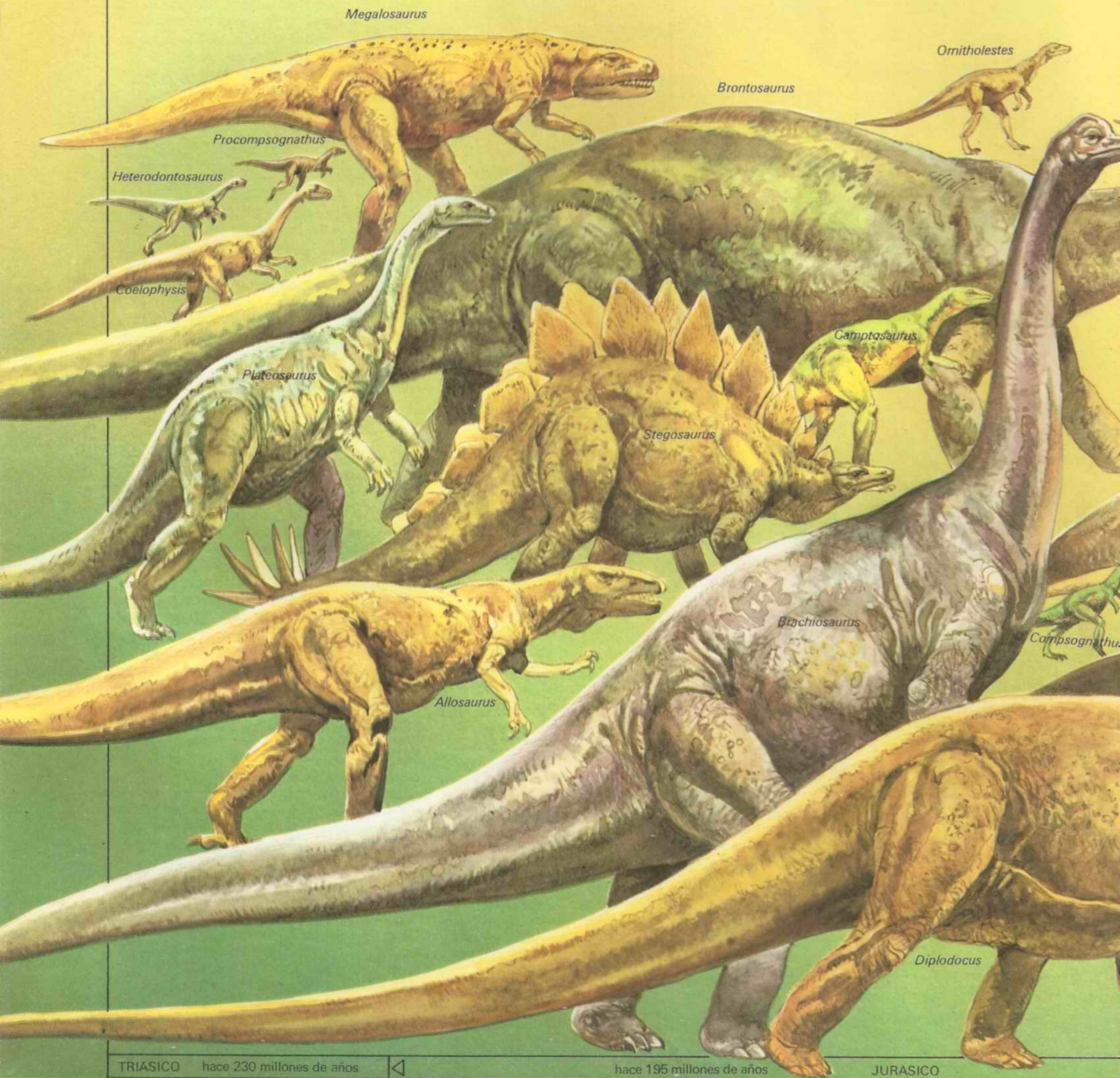
# Dinosaurios

Los dinosaurios ejercen una gran fascinación tanto sobre los científicos como sobre los profanos, a causa de su extraña anatomía (efectivamente, muchas veces presentaban una especie de armadura incorporada), de las dimensiones a menudo gigantescas que algunas especies llegaron a alcanzar y de la polémica que se mantiene en torno a las causas de su extinción. El nombre de dinosaurio viene del griego y significa "lagarto terrible"; se utiliza para denominar a los vertebrados de la clase de los Reptiles, subclase *Archosauria*, que incluye también a los cocodrilos y a los pterosaurios o reptiles voladores.

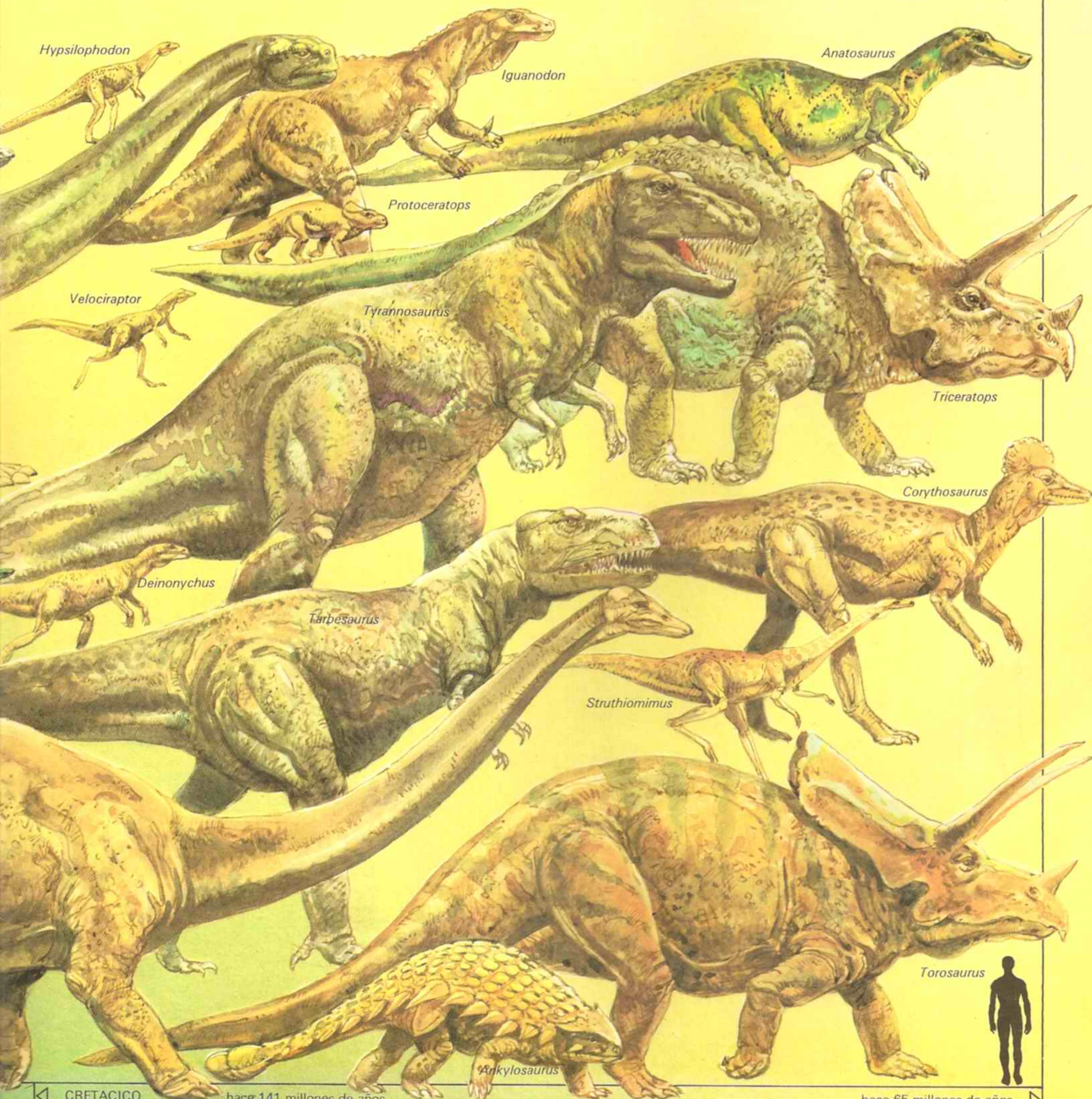
Hay dos grupos principales de dinosaurios, los saurópodos (orden *Saurischia*) y los ornitópodos (orden *Ornithischia*).

La diferencia principal entre los dos grupos radica en la constitución anatómica de la cintura pelviana. En los saurópodos, el pubis estaba dirigido hacia delante, como en los reptiles primitivos, mientras que los ornitópodos tenían el hueso púbico hacia atrás, similar al de los pájaros. Todos los ornitópodos eran herbívoros.

Los dinosaurios vivieron durante el transcurso de la era Mesozoica, que duró desde hace 225 millones de años hasta hace 65 millones. Dominaron la Tierra desde el período Triásico (que duró 35 millones de años) a través del Jurásico (54 millones de años), durante el cual el clima era templado y subtropical, y del Cretáci-



El clima cálido y las grandes extensiones de pantanos caracterizaron la era Mesozoica, favoreciendo de manera particular el desarrollo de los Reptiles.
Los dinosaurios, algunas de cuyas especies están representadas en estas páginas, hicieron su aparición en el Triásico, pero alcanzaron su máximo desarrollo en el Jurásico y en el Cretácico, al final del cual se extinguieron rápidamente.
No se conocen con exactitud las causas de su desaparición —sobre ello los científicos manejan diversas explicaciones, que no son sino teorías e hipótesis sin pruebas—, pero probablemente se debió a su incapacidad para adaptarse a las variaciones climáticas.
Los dinosaurios pertenecen a los órdenes de los Ornitópodos y de los Saurópodos, que presentan características esqueléticas diferentes. Los primeros incluyen formas exclusivamente herbívoras, diferentes desde el punto de vista morfológico, casi siempre cuadrúpedos, pero con algunas formas bípedas, presentes sobre todo durante el Cretácico.
Son ornitópodos característicos el *Iguanodon*, con los típicos pulgares de los miembros anteriores dirigidos hacia arriba, como puñales, y el *Anatosaurus* de América del Norte y Asia oriental, un dinosaurio herbívoro con el pico de pato.
Los saurópodos incluyen formas carnívoras, bípedas o cuadrúpedas; estas últimas tenían los miembros anteriores más cortos que los posteriores, pero igualmente fuertes.
Entre los saurópodos del Cretácico superior es famoso el *Tyrannosaurus*, un gigantesco carnívoro bípedo. Al suborden de los Sauropodomorfos pertenecen los animales terrestres más grandes de todos los tiempos, como por ejemplo el *Brontosaurus*, del que se cree que vivía en zonas pantanosas.



co (71 millones de años), período este último en el que los océanos cubrieron la mayor parte de la Tierra.

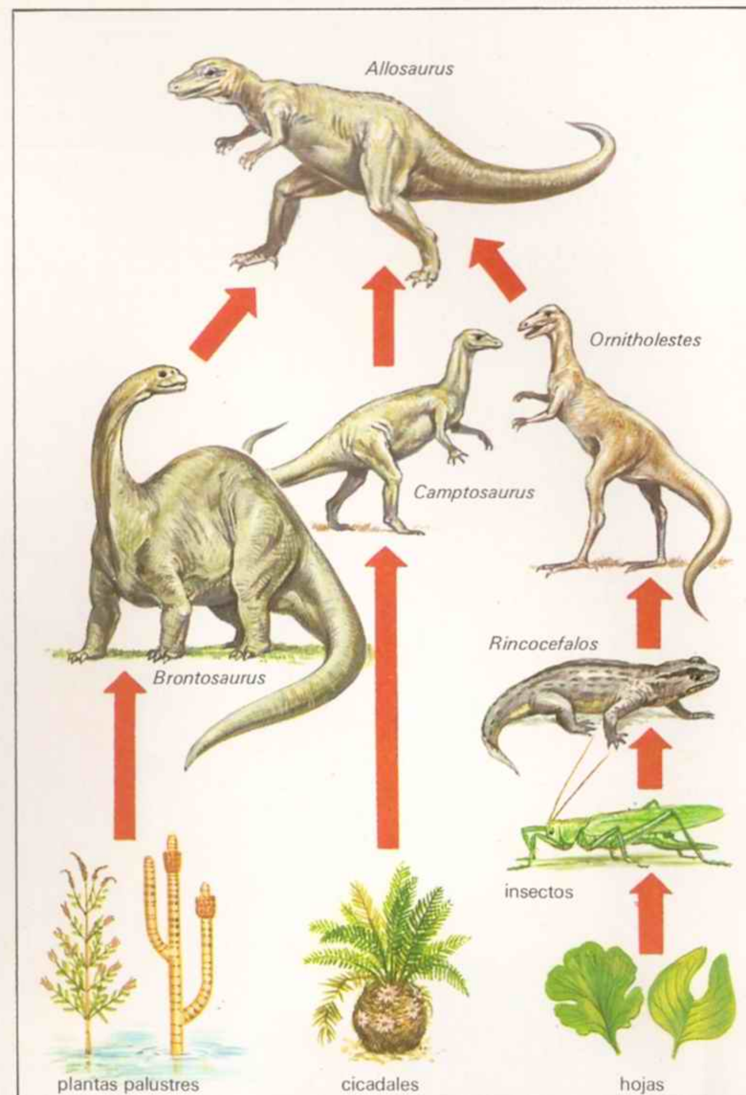
No todos los dinosaurios eran enormes; algunos tenían las dimensiones de una gallina. Y no todos eran feroces carnívoros. Muchos eran herbívoros, como por ejemplo los brontosaurios. Lo que distingue a muchos dinosaurios de los reptiles primitivos es el hecho de que algunos eran bípedos, es decir, caminaban sobre dos patas. Si bien los más conocidos caminaban sobre cuatro patas, entre ellos el *Brontosaurus*, los científicos sostienen que, puesto que los miembros posteriores estaban más desarrollados que los anteriores, al principio también ellos tuvieron que ser bípedos.

**Ornitópodos** Durante el Jurásico y el Cretácico, comprendidos entre hace 195 y 65 millones de años, los dinosaurios alcanzaron su máxima presencia sobre la Tierra. Los ornitópodos estaban dotados de picos córneos y carecían de dientes anteriores; estaban divididos en cuatro grupos principales. Los ornitópodos bípedos incluían al *Iguanodon* ("diente de iguana"), cuyos huesos fósiles fueron de los primeros en encontrarse y ser estudiados. El *Iguanodon* alcanzaba los 10 metros de largo y tenía "manos" óseas pentadáctilas (con cuatro dedos rígidos y rectos, estando el dedo interno transformado).

El *Hadrosaurus*, otro ornitópodo bípedo, tenía una cresta hueca en la cabeza, que, según algunos paleontólogos, constituía parte del epitelio olfativo.

El *Stegosaurus* era un cuadrúpedo del período Jurásico. Tenía una doble fila de grandes placas verticales en el dorso como protección de la columna vertebral, y largos aguijones afilados en la cola, que constituían un arma defensiva.

Los dinosaurios, que predominaron en la era Mesozoica, sobre todo durante los períodos Jurásico y Cretácico, formaban parte de una rigurosa cadena alimentaria. Las cadenas tróficas aparecen paralelamente al desarrollo de la vida sobre la Tierra, y se modifican según las condiciones ambientales. En la figura puede verse un ejemplo de pirámide trófica durante el Jurásico superior de Norteamérica, en cuya cumbre se encuentra el allosauro, temible depredador que atacaba a dinosaurios herbívoros que le superaban en tamaño, como el brontosaurio. En la página siguiente, arriba, mapa de la migración de los dinosaurios, según Edwin H. Colbert, en los continentes septentrionales (en color más oscuro). La presencia de especies idénticas en América del Norte y en Asia oriental (Mongolia) nos hace pensar en la existencia de un puente de tierra que, a través del estrecho de Bering, permitía el desplazamiento sobre tierra firme de estos gigantes no nadadores. Debajo, en el mapa que está situado en la parte central, están indicados los lugares de los principales hallazgos fósiles de dinosaurios.

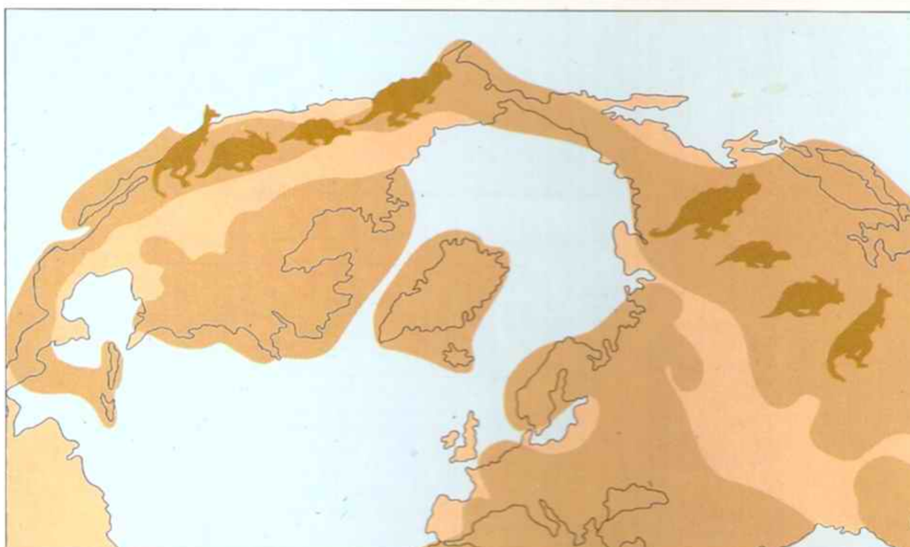


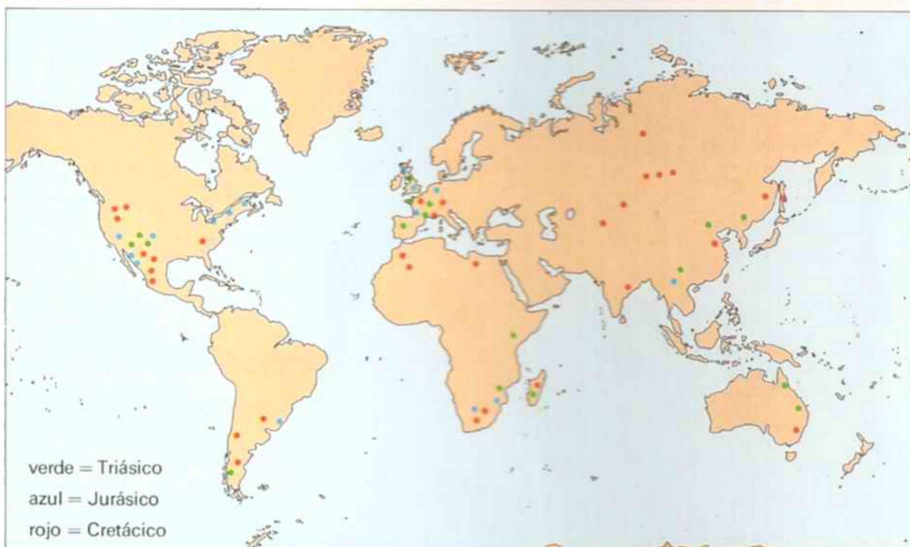



El *Ankylosaurus*, que tiene una notable coraza, es llamado también "reptil tanque." Al ser herbívoro, como todos los ornitópodos, el Ankylosaurus debía estar siempre alerta frente a los carnívoros, ya que no era anfibio y no podía escapar de los predadores sumergiéndose en el agua. Tenía un revestimiento óseo, una cola de 15 metros de largo, cuya extremidad presentaba una protuberancia que podía utilizar como arma defensiva.

Los *Ceratópsidos* tenían un collar óseo en la parte posterior del cráneo y algunos estaban dotados de cuernos. Sus enormes cabezas podían medir un tercio de su longitud total. El mejor conocido es el *Triceratops*, uno de los últimos dinosaurios. Podía alcanzar los 7,5 metros de largo y tenía tres cuernos de más de un metro. Un Triceratops adulto podía pesar de 9 a 10 toneladas. Se han encontrado algunos ejemplares con agujeros circulares en el collar, que los científicos suponen provocados por las cornadas de otros Triceratops.

**Saurópodos** El suborden *Theropoda* de los Saurópodos incluía a los bípedos





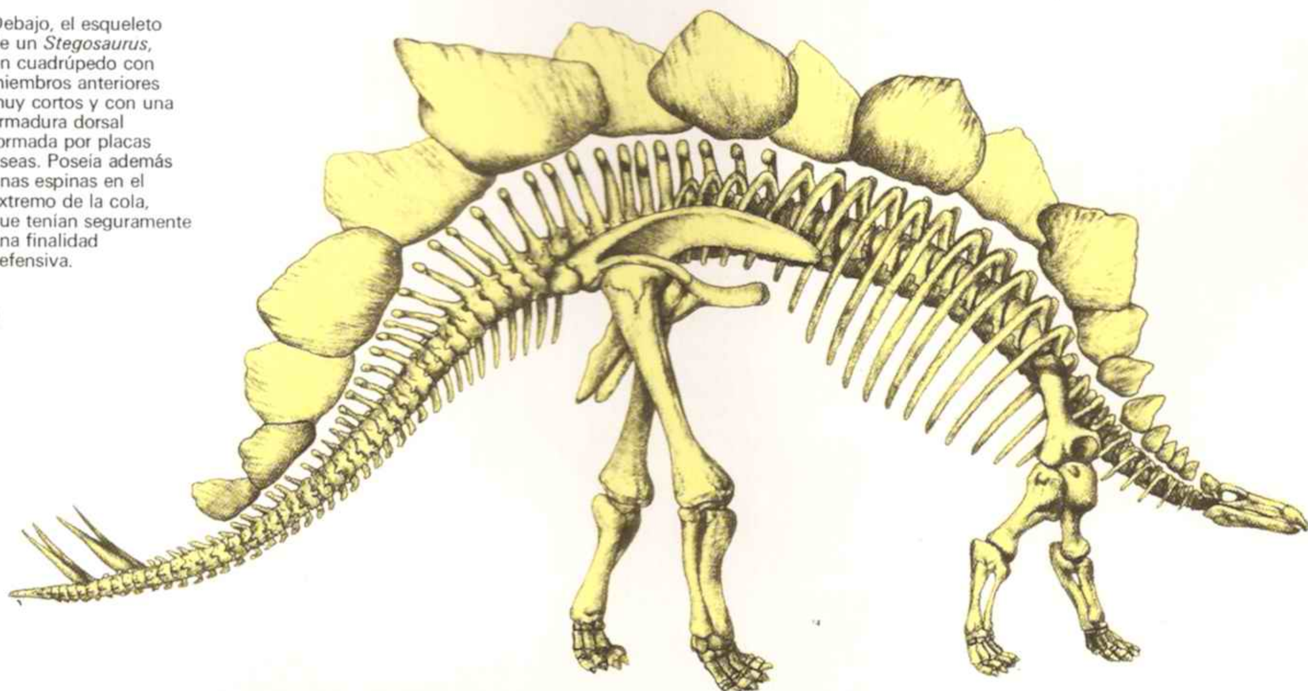

carnívoros que vivieron en el transcurso de los períodos Jurásico y Cretácico. Tenían pies de pájaro, por lo que en un primer momento los paleontólogos que descubrieron sus huellas estuvieron inclinados a pensar que se trataba de grandes pájaros.

Los terópodos eran carnívoros; vivieron a partir del Triásico superior y durante todo el Cretácico, y caminaban siempre sobre dos patas. El exponente más conocido de este grupo es el *Tyrannosarus*, el mayor carnívoro conocido. El Tyrannosaurus podía alcanzar los 15 metros de largo y una altura de 7 metros. Sus dientes de hasta 30 cm de longitud le permitían capturar herbívoros de gran tamaño. Probablemente el Tyrannosaurus era más bien raro. Era un bípedo y tenía las extremidades anteriores muy pequeñas, prácticamente inútiles. Tenía un cráneo grande, a menudo de más de un metro de largo, y largas mandíbulas que le permitían cazar con facilidad animales de grandes dimensiones. El cráneo presentaba también amplias aberturas en correspondencia con los ojos, los orificios nasales y los canales auditivos.

Los saurópodos eran dinosaurios gigantes semiacuáticos, que caminaban sobre cuatro patas y se alimentaban de vegetales. Eran los más grandes de todos los dinosaurios: medían de 18 a 30 metros de largo y pesaban de 30 a 50 toneladas, o incluso más. Uno de los más famosos es el *Brontosaurus*, que tenía unas patas similares a las de los elefantes, unas dimensiones enormes y un modo peculiar de andar, característico de este suborden.

Véase **Brontosaurio; Mesozoica, era**

Debajo, el esqueleto de un *Stegosaurus*, un cuadrúpedo con miembros anteriores muy cortos y con una armadura dorsal formada por placas óseas. Poseía además unas espinas en el extremo de la cola, que tenían seguramente una finalidad defensiva.

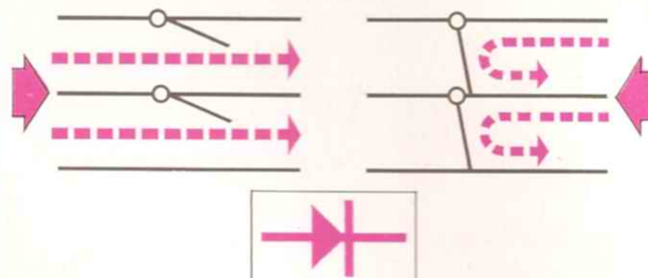


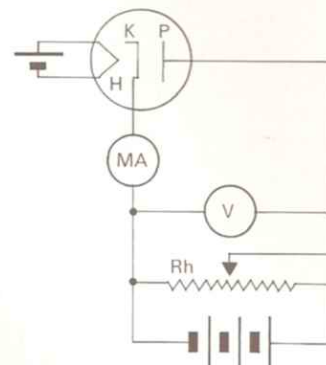
# Diodo

El flujo de corriente eléctrica en un conductor puede ser comparado con el flujo de agua en el interior de una tubería. En ambos casos existen numerosos dispositivos para regularlo; en el caso del flujo de corriente eléctrica en un circuito, uno de ellos es el *diodo*. Los diodos son utilizados para regular el sentido de la corriente eléctrica, la cual se origina por el flujo de microscópicas partículas cargadas negativamente, que reciben el nombre de *electrones*. Los diodos permiten a los electrones circular únicamente en un solo sentido y son utilizados, entre otras aplicaciones, para transformar la corriente alterna (ca) —la cual circula primero en un sentido y luego en el opuesto— en corriente continua (cc), que circula en un solo sentido. Este proceso recibe el nombre de *rectificación* y el diodo utilizado para este fin se llama *rectificador*.

Los primeros diodos consistían en un tubo en cuyo interior se hacía el vacío o se introducía un gas a baja presión. En el interior del tubo se colocaban dos terminales eléctricos denominados *filamento* y *ánodo*. Ambos terminales o electrodos se construían de modo que los electrones pudiesen circular con facilidad desde el filamento al ánodo, pero no al revés. Estos diodos de vacío, o con gas a baja presión, pueden encontrarse todavía en los antiguos aparatos de radio y de televisión, pero actualmente han sido sustituidos por los diodos semiconductores.

**Semiconductores** Los semiconductores están basados en materiales, como por ejemplo el silicio o el germanio, cuyo comportamiento no corresponde ni al de los buenos conductores ni al de los buenos aislantes. En estado puro, estos mate-





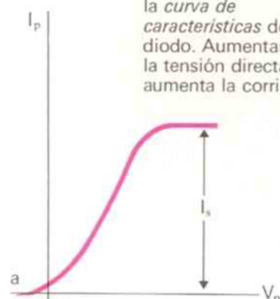

Arriba, el símbolo del diodo. En la comparación con el modelo hidráulico se representa como una válvula de compuerta que puede abrirse en un solo sentido: si el fluido intenta pasar en el sentido correcto, entonces la válvula se abre. Abajo, una válvula triodo, que es un diodo con un electrodo adicional, capaz de controlar el flujo de electrones entre el cátodo (o filamento) y el ánodo (o placa).



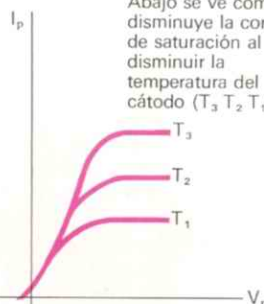




Abajo, dos diodos de vacío de emisión termoiónica, lo que comúnmente se llama *válvula termoiónica;* actualmente se utilizan poco, si bien se usan en algunas aplicaciones especiales en vez de los diodos de estado sólido, ya que son capaces de soportar elevadísimas tensiones inversas (hasta 100 e incluso más kV).




El diagrama muestra la *curva de características* del diodo. Aumentando la tensión directa, aumenta la corriente de placa, hasta que se alcanza la saturación. Abajo se ve cómo disminuye la corriente de saturación al disminuir la temperatura del cátodo ($T_3$ $T_2$ $T_1$).



riales son cristales, lo cual significa simplemente que sus átomos se encuentran dispuestos según un esquema regular y repetitivo.

Cuando alguno de estos materiales contiene impurezas, el esquema regular se destruye y a veces ello provoca que el material se convierta en conductor. Para obtener este efecto se añaden deliberadamente impurezas, y se dice que el material ha sido "dopado". Existen dos tipos de semiconductores: los de *tipo N* y los de *tipo P*. En el primer caso se suele añadir arsénico, mientras que en el segundo se añade boro.

Si se añaden pequeñas cantidades de arsénico al germanio (en una proporción de una parte en cien millones), los átomos de arsénico se introducen en la estructura cristalina regular. Los átomos de arsénico poseen un electrón más que los restantes y dicho electrón sobrante se mantiene retenido sólo por fuerzas débiles. De este modo, basta una pequeña cantidad de energía adicional para que el electrón se libere y pueda moverse en el interior del material. El efecto producido por las impurezas es el de aumentar la capacidad de conducción del material semiconductor, permitiendo el paso de los electrones. El resultado recibe el nombre de *semiconductor de tipo N*, ya que en su interior se encuentran electrones libres, que, como es sabido, son partículas que poseen carga negativa.

En el caso de un semiconductor de tipo P, para dopar al germanio se utiliza generalmente boro. El boro tiene un electrón menos que el material semiconductor. Sea cual sea la disposición de sus átomos en el interior de la estructura cristalina, siempre queda un "hueco" que puede ser ocupado por un electrón. Estos "huecos" mejoran además la conductividad del germanio, ya que si se aplica tensión, los electrones saltan con facilidad de un "hueco" a otro. En este caso se trata de un *semiconductor de tipo P*, puesto que el efecto deseado consiste en crear espacios de "carácter" positivo (por ausencia de carga negativa) a través de los cuales pueden desplazarse los electrones.

**La unión P-N** El diodo semiconductor se forma creando una capa de material de tipo N sobre un fragmento de material de tipo P (o viceversa), mediante un dopado selectivo. Cuando esta unión es polarizada directamente, algunos de los electrones libres del borde del material N se depositan en el material P, llenando algunos de los "huecos" existentes. Cuando esto ocurre, los electrones liberan parte de su energía en forma de calor, y a veces en forma luminosa, permaneciendo en sus nuevos lugares rodeados de otros electrones. Consecuentemente, en una pequeña zona a ambos lados de la unión no hay "huecos" ni electrones sobrantes. La porción de material de tipo N en dicha zona estará cargada positivamente, mientras que la porción del material de tipo P lo estará negativamente. Fuera de esta pequeña zona, el material N seguirá conservando sus electrones libres, y el material P, sus "huecos". Dicha zona se conoce con el nombre de *unión P-N* y permite el paso de los electrones en un solo sentido.

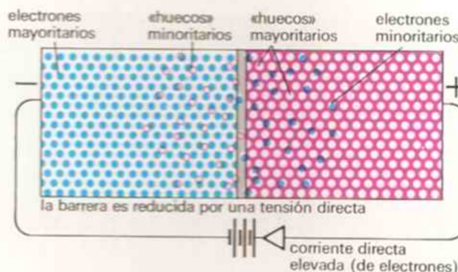
Lo que ocurre es que los electrones pueden circular con facilidad a través de la unión de N a P, pero no en sentido contrario. Los electrones que llenan los "huecos" en el lado P deben ganar energía para volver a la zona N, de la que proceden, y esto no es fácil; sin embargo, es fácil para los electrones de la zona N perder energía y deslizarse hacia un "hueco" de la zona P. El comportamiento de la unión P-N es parecido al de un móvil que se desplazara sobre una colina: para remontarla hay que empujar el electrón (P-N), mientras que para que descienda la pendiente (N-P) no existe ningún problema, ya que basta soltarlo.

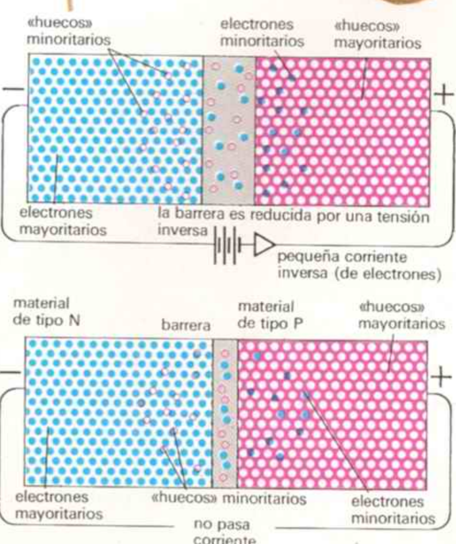
La corriente alterna (ca) procedente de una base de enchufe doméstico circula hacia adelante y hacia atrás 50 veces por segundo. Los aparatos de radio y los de televisión que se conectan a la red necesitan corriente continua (cc) para poder funcionar. Los diodos son utilizados para rectificar la corriente alterna, es decir, para transformarla en corriente continua. Además son utilizados para otros cometidos.

La célula fotoeléctrica es una variante de los diodos semiconductores. Algunos tipos de diodos se basan en el hecho de que puede provocarse una emisión luminosa cuando los electrones se alojan en "huecos" del material de tipo P; éstos se llaman *diodos luminiscentes* o LED y son utilizados en gran número de aplicaciones, desde pilotos de señalización a paneles de visualización digital. Algunos LED son capaces de emitir rayos de tipo láser.

Véase **Célula fotoeléctrica; Diodo de emisión luminosa (LED); Diodo láser**




Arriba, a la derecha, varias clases de diodo de estado sólido; hoy se hacen a base de silicio. Se trata de elementos capaces de rectificar corrientes de hasta 1 amperio, o en el caso de los aquí representados, de un centenar. En los circuitos en los que la tensión a rectificar es baja, estos diodos son los más adecuados. En los esquemas que hay sobre estas líneas se ve el principio de funcionamiento de los diodos de estado sólido: a la izquierda, el material de tipo N; a la derecha, el de tipo P; en la zona central, la unión que forma la barrera. A la derecha, en condiciones normales, no pasa corriente; si se aplica una tensión inversa, puede pasar una pequeña corriente inversa (arriba, a la derecha). En el caso de una fuerte tensión en el sentido correcto (arriba, a la izquierda), la barrera deja paso.

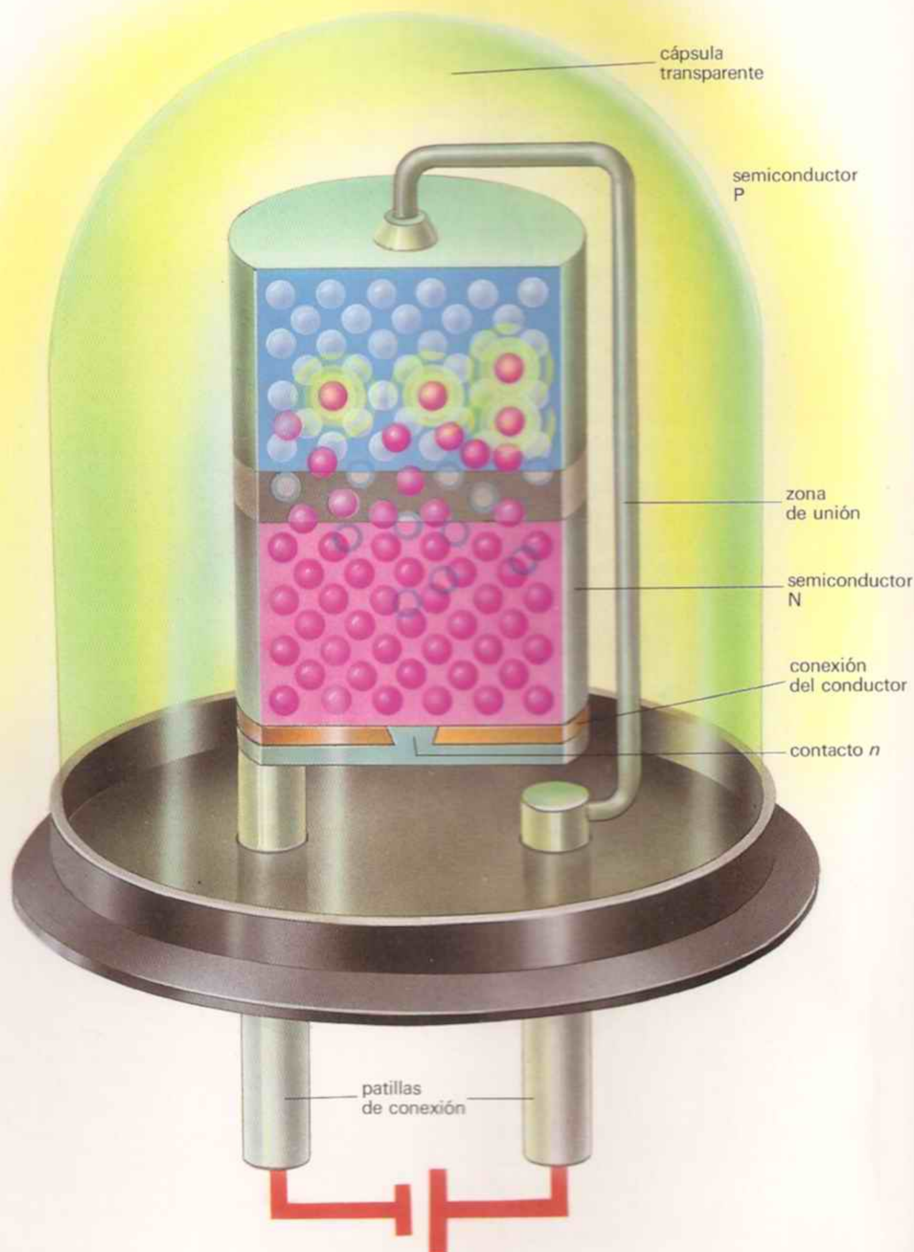
# Diodo de emisión luminosa (LED)

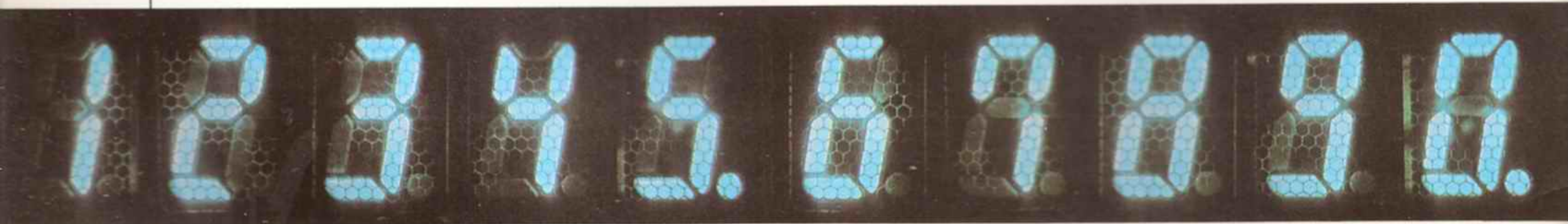
En un futuro no muy lejano los aparatos de televisión podrán disponer de una pantalla de muchos metros cuadrados de superficie, pero el espesor del aparato no será superior al de un libro de bolsillo. Además, en contra de lo que ocurre con los aparatos que funcionan con los voluminosos tubos de rayos catódicos, los del futuro serán de gran duración. Estarán basados en un minúsculo componente electrónico llamado *diodo luminiscente* o LED, ideado por Nick Holonyak, que trabajaba para la General Electric, en EE UU.

Los LED se utilizan en la actualidad para señalización en las pantallas de relojes digitales y de calculadoras de bolsillo. La incorporación a las pantallas de televisión, a las lámparas domésticas y a los faros de los automóviles no tardará mucho.

**Diodos semiconductores** Un diodo es un dispositivo electrónico cuya función consiste en permitir el paso de la corriente en un solo sentido. Los LED son diodos semiconductores, lo cual significa que gozan de las propiedades de los materiales llamados *semiconductores*, como el silicio y el germanio, que no son buenos aislantes ni buenos conductores. Hay dos tipos fundamentales de semiconductores, el *tipo N* y el *tipo P*. Cuando los semiconductores de tipo N son obligados a permitir el paso de la electricidad, se movilizan electrones de las impurezas que para tal efecto son introducidas o "inyectadas" en el material que los constituye. Por el contrario, las impurezas de los semiconductores de tipo P aportan "huecos", en los que pueden alojarse los electrones durante su recorrido a través del material. Cuando en la superficie de un disco semiconductor (*chip*) se forma una unión o una zona de transición entre las delgadas películas de material de tipo N y de tipo P, el resultado es una barrera eléctrica a través de la cual los electrones sólo pueden circular en un sentido.

Basta una pequeña cantidad de energía para impulsar a un electrón desde el material de tipo N hasta un "hueco" del material de tipo P, atravesando dicha barrera. Cuando un electrón pasa a través de la barrera y se aloja en un "hueco", libera energía en forma de luz o calor, según el




La presencia de átomos libres excitados por un choque puede producir un fenómeno luminoso. Ello se debe a que sus electrones adquieren energía en el choque y pasan a órbitas más externas, para más tarde volver a caer en órbitas inferiores emitiendo luz a partir de la energía que poseían para escapar de la fuerza de atracción del núcleo atómico. El fenómeno de la emisión luminosa también puede darse en un sólido, siempre que la disposición de los átomos sea tal que permita la existencia de electrones libres para moverse alrededor de un centro de atracción distinto del representado por sus núcleos atómicos naturales. El nuevo centro de atracción estará constituido por un grupo de átomos con los electrones dispuestos según una particular estructura. Mientras que los electrones libres para moverse en un gas se excitan por efecto de un choque recíproco, en los cristales es el paso de una corriente eléctrica lo que excita a los electrones, haciendo que adquieran energía. Dichas condiciones se dan en una situación como la del diodo de cristal que se ilustra arriba. Está constituido por dos clases de silicio semiconductor, separadas por una barrera, llamada *unión*, que permite el paso de electrones en un solo sentido. Sobre estas líneas se muestra una aplicación de los diodos LED: los caracteres de una pantalla luminiscente digital.

tipo de material semiconductor empleado. En un diodo de silicio o germanio dicha energía se libera generalmente en forma de calor y sólo una pequeña fracción se libera en forma luminosa. Por el contrario, en un LED, la mayor parte de la energía se libera en forma de luz.

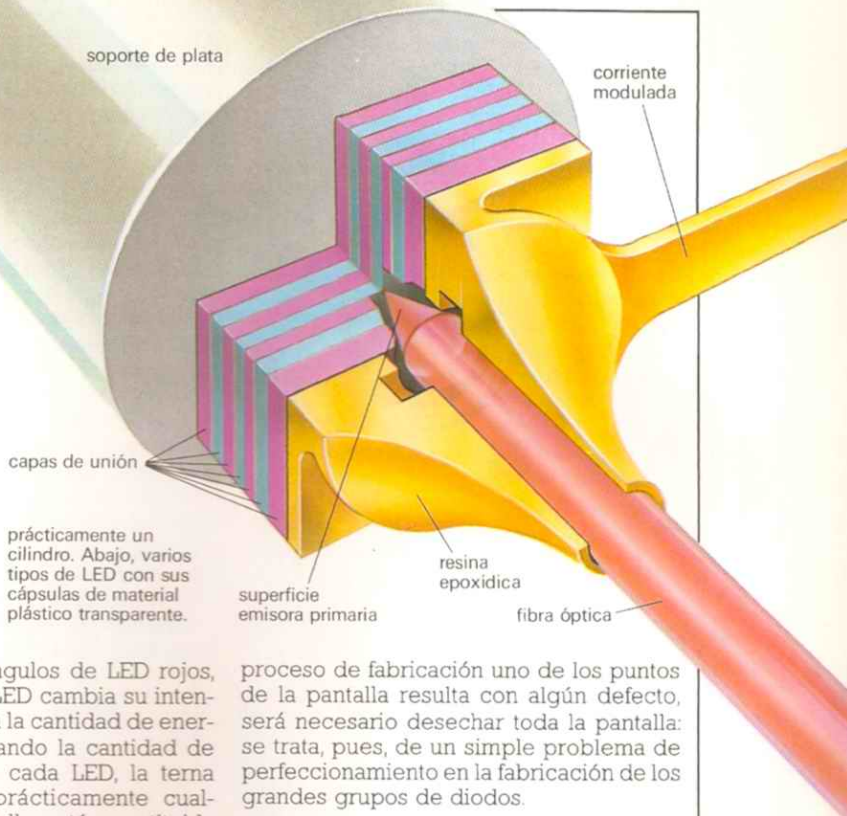
**Emisión de luz** En un LED, un electrón libera energía emitiendo un fotón cuando se aloja en un "hueco". Un *fotón* es una pequeñísima unidad de energía luminosa; un rayo de luz puede considerarse como un conjunto de miles de millones de fotones. La luz emitida por un LED se debe al paso continuo de miles de millones de electrones por segundo a través de la barrera para alojarse en los "huecos" del material de tipo P, emitiendo fotones en el proceso. El color de la luz depende de la energía de los fotones emitidos. En un LED esto depende de la cantidad de energía que pierde el electrón al alojarse en el "hueco". Dicha cantidad de energía es la misma para todos los "huecos" de un determinado material semiconductor; por lo tanto, cada material emite luz de un determinado color. Los primeros LED se hacían de arseniuro de galio (una mezcla de galio, arsénico y otros elementos) y emitían luz de color rojo. Actualmente han sido desarrollados LED que emiten luz de prácticamente todos los colores, incluso radiación infrarroja, no visible por el ojo humano.

Una de las aplicaciones más espectaculares de los LED son las pantallas de televisión planas (aunque dichas pantallas todavía no se comercializan). En un televisor en color tradicional, el color es producido por medio de pequeñísimos triángulos de puntos fosforescentes (uno rojo, uno verde y uno azul) que se pueden hacer brillar con diversas intensidades. El color resultante depende de la intensidad relativa de brillo de cada punto. Casi todos los colores pueden conseguirse mezclando adecuadamente los tres citados. Una pantalla de un televisor en color utiliza cientos de miles de ternas de puntos para formar las imágenes.

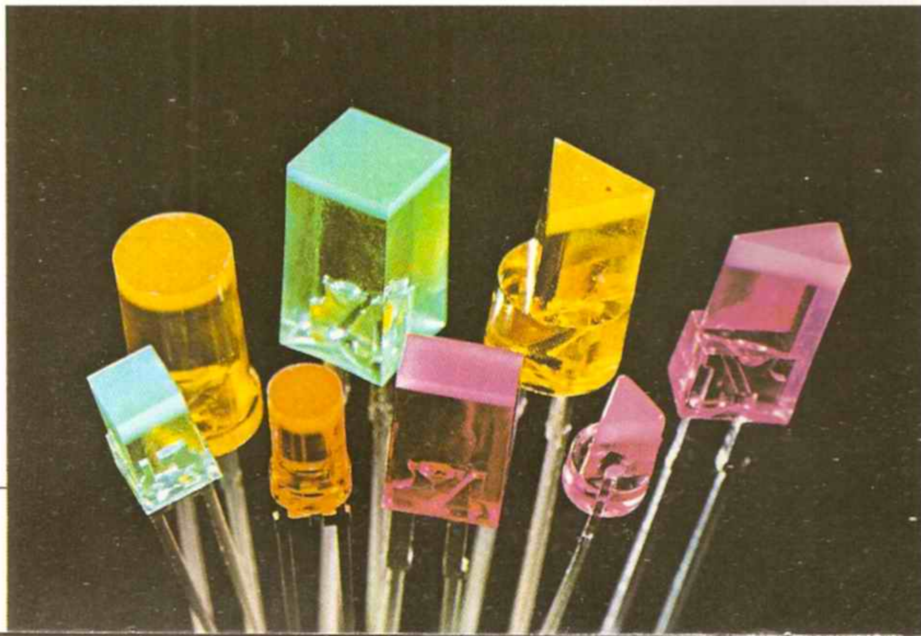
Una pantalla de televisión "plana" funciona con el mismo principio, lo que ocurre es que en lugar de los puntitos fosforescentes utiliza triángulos de LED rojos, verdes y azules. Un LED cambia su intensidad luminosa según la cantidad de energía que recibe. Variando la cantidad de corriente aplicada a cada LED, la terna puede reproducir prácticamente cualquier color. La pantalla está constituida por discos, cada uno del tamaño aproximado de una uña y que contiene cientos de ternas. La pantalla, a su vez, puede contener cientos e incluso miles de tales discos.

Aunque técnicamente es posible en la actualidad, la pantalla televisiva LED es una aplicación todavía no inmediata. Estará constituida por una superficie transparente debajo de la cual se encontrarán las minúsculas fuentes constituidas por los diodos luminiscentes. Para alimentar esos diodos, es necesario disponer otras capas en las cuales se situarán los conductores, en número muy elevado, que no deben cruzarse y que sirven para permitir el encendido y la regulación de intensidad de los diodos.

Actualmente, la fabricación de los diodos luminiscentes aislados es perfectamente segura, pero no ocurre así con las grandes matrices de diodos. Si durante el proceso de fabricación uno de los puntos de la pantalla resulta con algún defecto, será necesario desechar toda la pantalla: se trata, pues, de un simple problema de perfeccionamiento en la fabricación de los grandes grupos de diodos.




Una capa de semiconductores alternados en contacto con un poderoso disipador de calor, al paso de una corriente, emite luz de la misma naturaleza del láser. Esto significa que la luz es coherente (todas las ondas que la forman se encuentran en fase); dicha luz es de un solo color y al salir del diodo no se dispersa en un haz cónico muy abierto, sino que se mantiene dentro de un cono de pequeñísima abertura, prácticamente un cilindro. Abajo, varios tipos de LED con sus cápsulas de material plástico transparente.



**Ventajas de los LED** Los LED sustituyen a las lámparas incandescentes en gran número de aplicaciones merced a su reducido tamaño, a la escasa potencia que necesitan y a su gran duración. Los LED son más pequeños que un grano de arena, no miden más que unas centésimas de milímetro, aunque suelen encapsularse en bloques más grandes, generalmente de plástico transparente.

Los LED son más eficaces que las bombillas incandescentes, produciendo la misma luminosidad con un consumo energético inferior. Las lámparas incandescentes convierten en luz menos del uno por ciento de la energía eléctrica que reciben. Eso ocurre porque el filamento debe calentarse para poder emitir fotones y esto consume una gran cantidad de energía. En los LED lo que ocurre es que los electrones producen fotones directamente al alojarse en los "huecos" del material semiconductor, y la eficacia de los LED puede alcanzar valores del 50%. Además, al consumir menos energía, su coste de funcionamiento es más bajo.

Finalmente, un LED no posee un filamento, razón por la cual no corre el riesgo de "quemarse" (fundirse) como ocurre con las lámparas de incandescencia. Mientras que la duración de una bombilla normal puede ser de unas 5.000 horas, la de un LED se estima en cientos de miles de horas, es decir, pueden funcionar ininterrumpidamente durante decenas de años. Por su tamaño, eficacia y duración, los LED parecen destinados a constituir una de las más importantes fuentes de luz para el futuro.

Véase **Diodo; Diodo láser; Láser**

# Diodo láser

El primer láser operativo fue construido en 1960 por el científico norteamericano T. H. Maiman, que trabajaba en los Hughes Research Laboratories, en California. En los años siguientes, el láser, un dispositivo que produce un fino e intenso haz luminoso, se ha transformado de una simple curiosidad de laboratorio en un instrumento de importancia vital para la ciencia moderna, para la Medicina y para la industria. Los láser actuales son cada vez más potentes y eficaces, y se construyen con tipos muy diversos de materiales.

Maiman obtuvo su primer láser a partir de una varilla de rubí sintético. Estos tipos de láser son llamados "de estado sólido." Más tarde (1960) fueron ideados y desarrollados los láser de gas, partiendo de gases como el neón. El primer láser de gas fue ideado por D. R. Herriot, A. Javan y W R. Bennet, que trabajaban en la Bell Telephone, en EE UU. Sin embargo, una nueva fuente, más atractiva y prometedora, de rayos láser la constituyen los semiconductores, es decir, los materiales que no son buenos conductores ni buenos aislantes. Los láser constituidos por semiconductores son llamados *láser de semiconductores* o *diodos láser.*

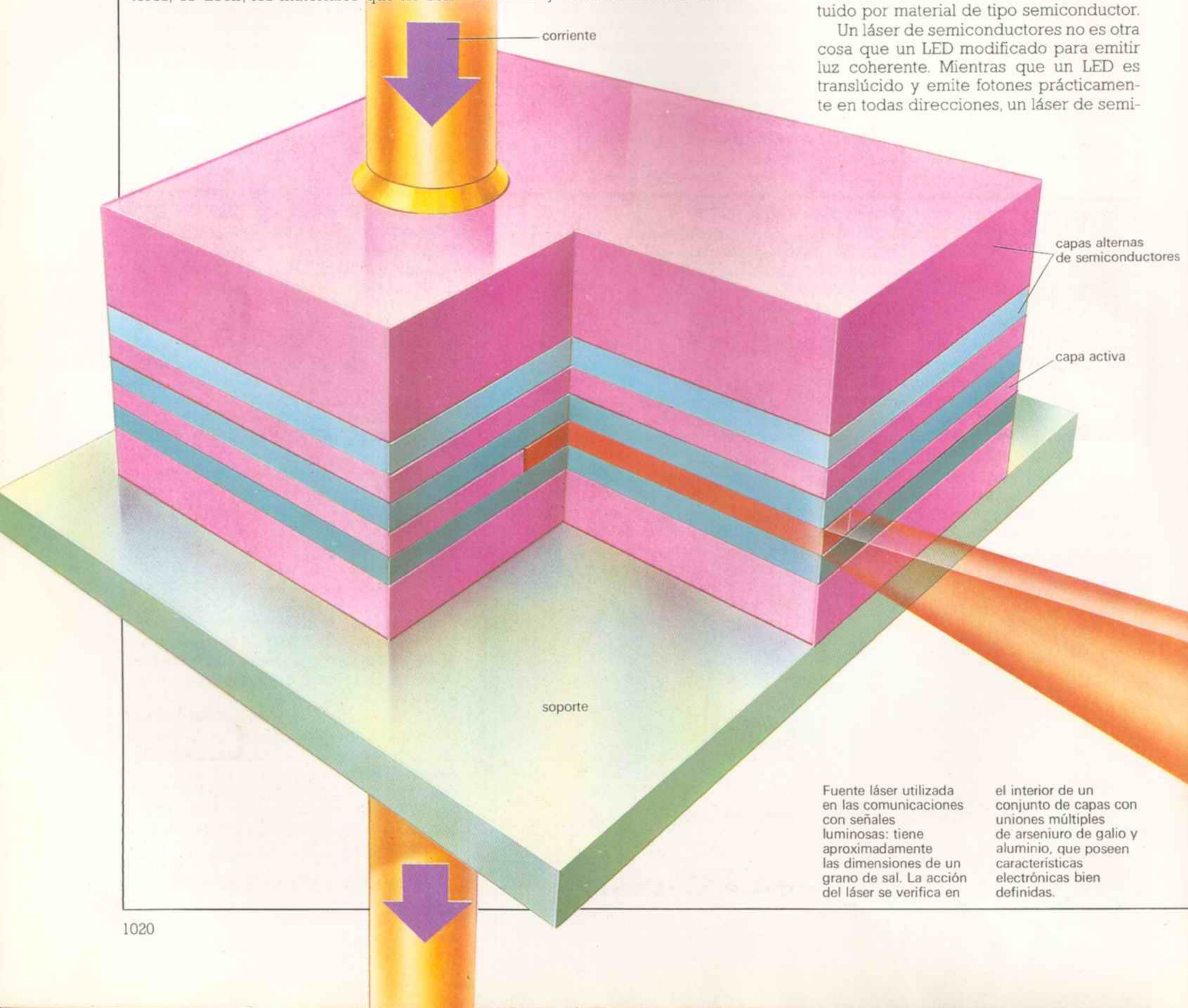
**Luz láser** La luz puede ser definida como el conjunto de pequeñísimas partículas, llamadas *fotones*, que se desplazan en forma de ondas. Estas, como las olas de las aguas marinas, forman una serie regular de crestas, o picos, y de valles. Se define como *longitud de onda* la distancia entre cualquier par de picos o de valles consecutivos, mientras que la *frecuencia* de la onda es el número de longitudes de onda que pasan en cada unidad de tiempo por un punto determinado.

Un rayo de luz normal consiste en un conjunto desordenado de muchas frecuencias distintas, o de muchas longitudes de onda distintas. En el lenguaje científico se dice que esta luz es "no coherente". Un haz de luz no coherente, como el producido por una linterna, se abre rápidamente y toma un carácter difuso.

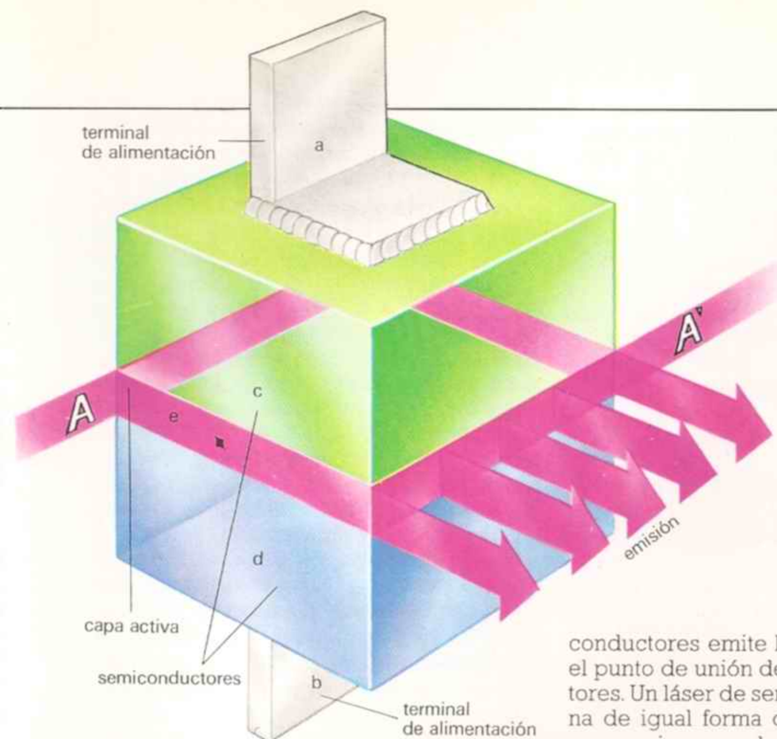
La luz láser es una *luz coherente.* Eso significa que todas sus ondas tienen la misma frecuencia o longitud de onda, y que, además, todas ellas se desplazan en fase y en la misma dirección. Los fotones de un haz de luz coherente pueden compararse con un grupo de soldados que marchan con el mismo paso y en la misma dirección. Por esta razón, un haz de luz coherente se proyecta en línea recta y sin abrirse a lo largo de un espacio indefinido; incluso se ha conseguido la reflexión sobre la Luna de un haz de rayos láser.

**Diodos luminescentes** El diodo es un componente electrónico que permite el paso de una corriente eléctrica en un solo sentido. Algunos diodos son proyectados para que puedan emitir fotones —luz— cuando una corriente eléctrica circula a su través. Reciben el nombre de *diodos luminescentes* o LED. En la vida cotidiana, los LED se utilizan para iluminar las pantallas de los relojes digitales o de las calculadoras de bolsillo. Un LED está constituido por material de tipo semiconductor.

Un láser de semiconductores no es otra cosa que un LED modificado para emitir luz coherente. Mientras que un LED es translúcido y emite fotones prácticamente en todas direcciones, un láser de semi-




Fuente láser utilizada en las comunicaciones con señales luminosas: tiene aproximadamente las dimensiones de un grano de sal. La acción del láser se verifica en el interior de un conjunto de capas con uniones múltiples de arseniuro de galio y aluminio, que poseen características electrónicas bien definidas.

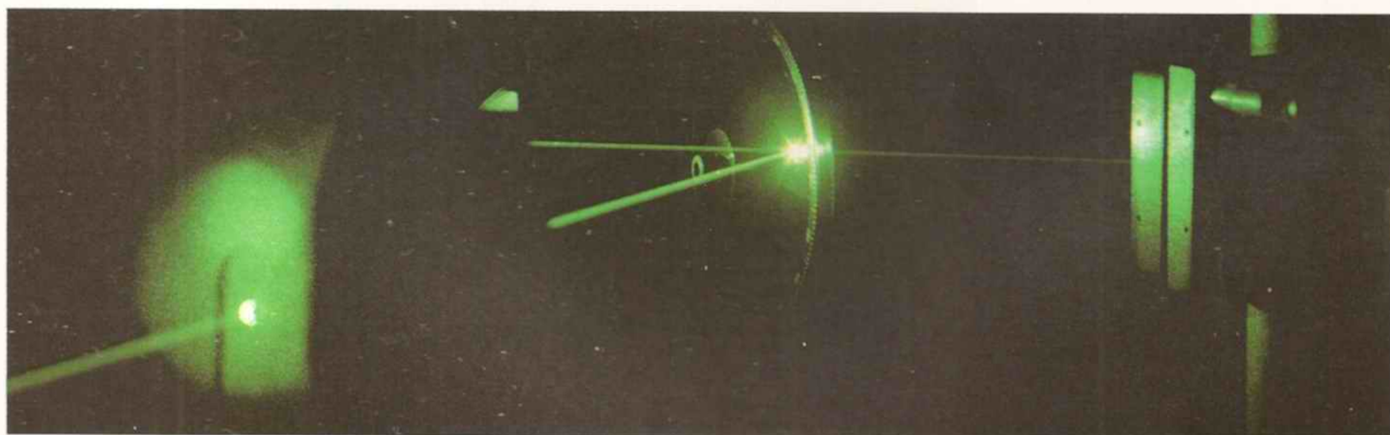



Láser con unión de capa sólida. Las flechas indican: terminales para el paso de corriente eléctrica; semiconductores para la integración directa de cargas en la capa que reproduce el efecto láser; capa en la que los átomos de impurezas poseen estados metaestables con efecto láser. Las superficies A y A' son planas y paralelas entre sí. El rendimiento del proceso es muy elevado.

conductores emite luz únicamente desde el punto de unión de los dos semiconductores. Un láser de semiconductores funciona de igual forma que el de rubí. Posee un espejo en cada extremo, uno de los cuales se encuentra parcialmente plateado mientras que el otro lo está en su totalidad. Los fotones emitidos rebotan sucesivamente entre los dos espejos. A menudo, uno de los fotones alcanza un electrón libre y lo envía a llenar un "hueco" del material semiconductor. Esto genera otro fotón con prácticamente la misma longitud de onda del primero. Cuando cada uno de estos fotones colisiona de la misma forma con otro electrón, se generan otros dos fotones, casi iguales a los primeros. Los fotones se multiplican al rebotar entre los espejos. Sin embargo, muchos de ellos no son reflejados por el espejo parcialmente plateado y lo atraviesan formando un rayo de luz coherente.

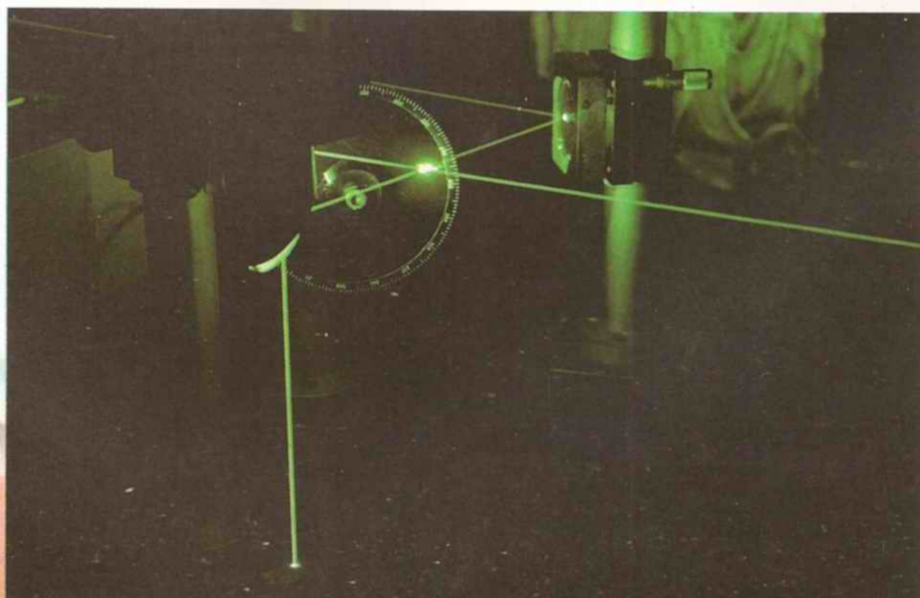
**Ventajas del láser de semiconductores** La radio y la televisión reciben y transmiten señales utilizando pequeñas variaciones en la frecuencia y en la amplitud (intensidad) de las ondas de radio y microondas. Como la luz láser es coherente, puede ser utilizada en forma similar. Aunque los láser de semiconductores tienen una potencia limitada en comparación a las otras fuentes de luz láser, son sin embargo más pequeños, más resistentes, más eficaces y menos costosos. Esto los convierte en el sistema ideal para los equipos de comunicaciones portátiles de bajo costo. Han sido desarrollados ya muchos tipos de transmisores con láser de semiconductores para usos diversos.

Véase **Diodo de emisión luminosa (LED); Láser**

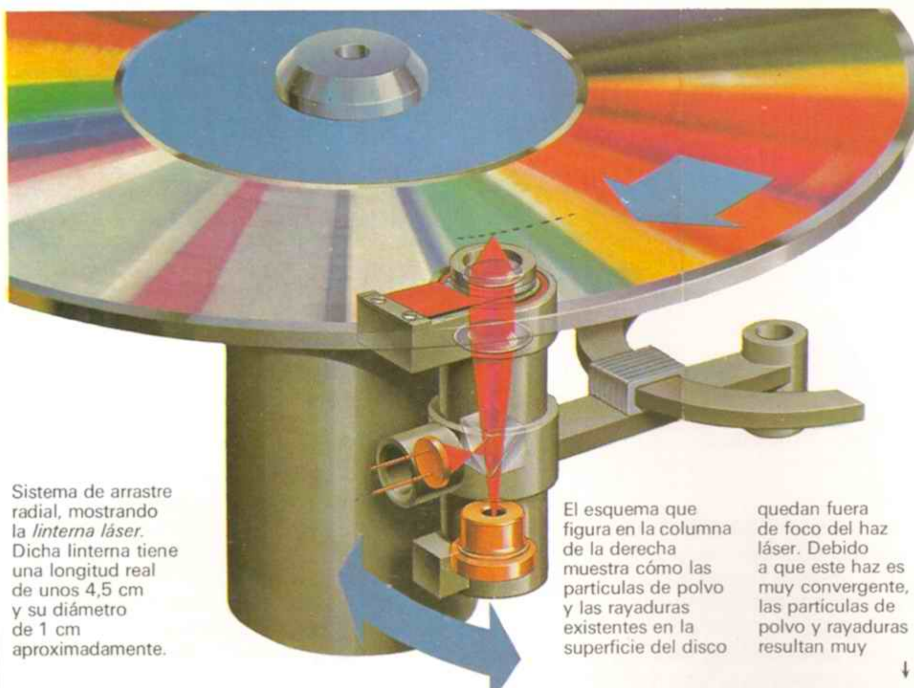





El "baile" de fotones entre los espejos de un equipo láser permite emitir haces de luz coherente con aplicaciones técnicas y científicas excepcionales. Actualmente, algunas de las más prometedoras conquistas tecnológicas están ligadas al empleo de los láser en los más diversos campos de la vida moderna.



# Disco compacto



Sistema de arrastre radial, mostrando la *linterna láser.* Dicha linterna tiene una longitud real de unos 4,5 cm y su diámetro de 1 cm aproximadamente.

**E**n 1877 el fonógrafo de Edison reproducía la canción de cuna *Mary had a little lamb*, grabada, con la propia voz de Edison, sobre un cilindro de cera: era la primera vez en la historia que se reproducía la voz humana. Después vino el disco de cera de Berliner, seguido por el disco de pasta de 78 r.p.m.; más tarde, los discos "L. Ps.", que se vieron paulatinamente sustituidos desde los primeros años de la década de los 80 por algo distinto a lo anterior: el disco digital de audio, llamado *disco compacto* o *compact disc*.

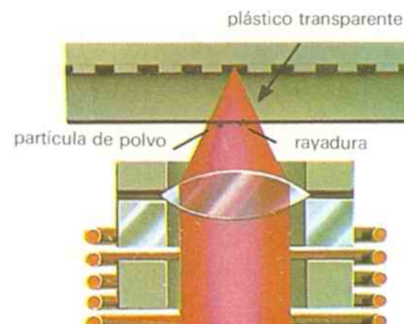
El giradiscos o tocadiscos convencional de aguja representa un débil eslabón en la cadena de sonido, ya que su aguja puede llegar a deteriorar los discos por mero desgaste físico si estos se reproducen muchas veces. Ese inconveniente desapareció con los *lectores ópticos* mediante luz láser. Nació así un nuevo sistema de grabación y reproducción del sonido que significó el mayor de los avances conseguidos en el campo del audio. Un disco de 12 cm de diámetro, grabado por una sola de sus caras, admite hasta una hora de reproducción musical continua y en estereofonía. En lugar de surcos, el *compact disc* (C.D.) tiene unas pistas formadas por rayas o huecos (*pits*), que almacenan la información codificada en forma digital. La superficie del disco está protegida por una capa de plástico transparente, por lo que ni el polvo, ni la suciedad, ni las pequeñas rayaduras y huellas le afectan, ya que el disco se lee por un sistema óptico mediante un rayo láser de baja potencia, y al no existir contacto físico entre disco y aguja, el disco no se desgasta.

Gracias a todo ello, la calidad de la información musical de los discos compactos se mantiene inalterable durante un tiempo prácticamente ilimitado.

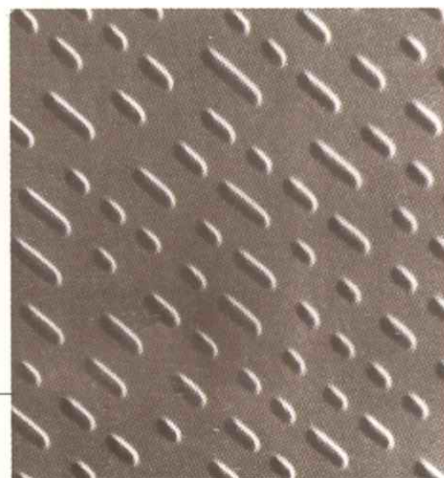
**Reproducción digital del sonido** Una señal analógica es aquélla que varía de forma continua con el tiempo, y como los sistemas analógicos usan cantidades físicas, están siempre sujetos a variación física, lo cual es causa de ciertas inexactitudes. Los sistemas digitales trabajan con cantidades numéricas de tipo discreto, que no están sujetas a variación física alguna. Siempre que los números se conserven, la característica principal de los sistemas digitales es su exactitud. Los ordenadores son un ejemplo de sistemas digitales.

El sonido se define como toda variación de presión que puede ser detectada por el oído humano. Hasta ahora, los sistemas de audio se han basado en un principio analógico consistente en la conversión de la presión del aire y sus variaciones en otras de tensión o corriente eléctricas, que se procesan de forma analógica (por ejemplo, la fabricación de un disco gramofónico); estas ondas sonoras eran reproducidas después por altavoces. Este sistema, en el estado final de su desarrollo, funcionaba bastante bien, pero se encontraba prácticamente en el límite máximo de su rendimiento. Las señales apenas podían hacerse ya más exactas y los niveles de ruido y distorsión casi no se podían reducir más con un coste razonable de los equipos de audio analógicos.

Con la digitalización se abre un nuevo camino hacia una mejora sustancial del rendimiento. En este proceso, la señal de audio se *muestrea* a gran velocidad, midiéndose el valor de cada muestra, que se convierte después en un valor digital, codificado en binario (en términos digitales a esto se le llama *palabra*). La serie de sucesivos números binarios es el equivalente digital exacto de la señal de audio, cuya precisión depende únicamente de la velocidad de muestreo y de la resolución del número binario. La ventaja del código binario es que sólo tiene dos valores 0 y 1, que pueden representarse fácilmente por circuitos eléctricos tipo relé. En el sistema *compact disc* cada muestra medida de la señal de audio queda representada por 16 *bits*, lo que ofrece una resolución muy elevada, así como una buena relación señal/ruido. Cada *bit* añadido representaría una mejora de 6 decibelios teóricos en la relación señal/ruido. Un ejemplo de una señal de estas *muestras* o *palabras* sería: 1011010101010001.





El esquema que figura en la columna de la derecha muestra cómo las partículas de polvo y las rayaduras existentes en la superficie del disco quedan fuera de foco del haz láser. Debido a que este haz es muy convergente, las partículas de polvo y rayaduras resultan muy pequeñas respecto al diámetro del haz en la superficie del disco y, por tanto, tienen muy poco efecto sobre la intensidad de luz reflejada. A la derecha, superficie de un disco *compact-disc* ampliada 12.500 veces. A la izquierda, aparato reproductor de un disco compacto.

Fotos Philips

Entre las ventajas del sistema digital de grabación y reproducción se cuentan sus valores extremadamente bajos de distorsión, tanto armónica como de intermodulación, y la eliminación de la vibración al utilizar una frecuencia patrón del tipo de cristal de cuarzo (referencia de gran estabilidad).

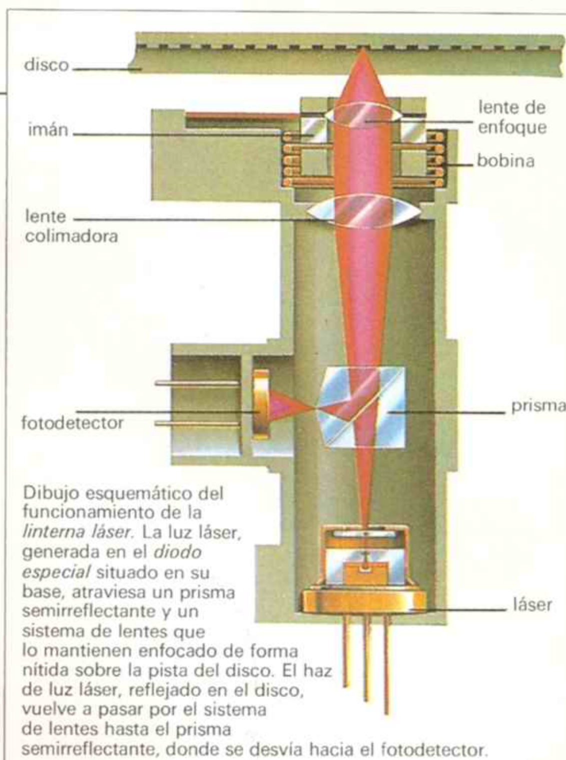
**La codificación de la información en el disco compacto** La gama de frecuencias de audio que se puede cubrir depende de la velocidad de muestreo, que deberá ser, por lo menos, del doble de la frecuencia más alta que contenga el espectro de la señal a reproducir. En el *compact-disc* esta frecuencia es de 44,1 KHz, con lo cual se cubre ampliamente toda la gama de frecuencias audibles (20 Hz a 20.000 Hz). La separación entre los canales derecho e izquierdo es muy elevada, ya que dichos canales se graban en el disco secuencialmente (uno detrás de otro) y no a la vez, como ocurre en el surco del disco convencional.

La serie de *bits* de audio no se graba directamente en el disco sino que se hace junto con un potente código (que supone introducir gran número de *bits* adicionales), para permitir la corrección de todos los fallos o ausencias de señal que puedan producirse después en la lectura del disco. Este código puede corregir una pérdida de hasta 3.500 *bits* sucesivos (equivalente a una longitud de pista en el disco de hasta 2,4 mm). También puede compensar, por interpolación, una pérdida de hasta 12.000 *bits*, que ocupan una longitud de pista de 7,7 mm. Es éste un factor muy importante del sistema, que proporciona un amplio margen de tolerancia, no sólo durante el proceso de fabricación, sino incluso en las rayaduras y marcas inevitables en el uso continuo.

Otra información que se añade a la serie de *bits* de audio es la referente al sistema de control, que permitirá al sistema corregir durante su lectura errores geométricos en el disco. Otra información añadida es la necesidad para el acceso a una pista de forma aleatoria (búsqueda rápida de un pasaje musical concreto). Incluso se pueden incluir símbolos especiales que permitan presentaciones visuales (en una pantalla) de información; por ejemplo, títulos, autores, letra de las canciones, etc.

**Lectura óptica** El disco compacto, se lee ópticamente utilizando una luz láser. En esencia, un *láser* es una fuente de luz especial que produce luz coherente muy concentrada. La palabra *láser* viene de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación) y, debido a la naturaleza precisa del haz, el principio del láser ha encontrado muchas aplicaciones en la ciencia y la industria. El láser del reproductor del disco compacto es una unidad pequeña, de poca potencia, que emite una luz infrarroja invisible. Su propiedad esencial es su capacidad para conseguir un enfoque muy nítido. Esta gran nitidez es la que permite leer una pista formada por hoyos (equivalentes a los surcos del disco convencional) que tienen 0,5μ (micras) de ancho por 0,1μ de fondo y de 1 a 3μ de largo, siendo el paso de pista de 1,6μ (distancia entre dos pistas consecutivas). El haz láser se dirige a la cara transparente del disco y se enfoca a la pista correcta por medio de un sistema óptico. Del movimiento del haz láser para leer todo el disco se encarga un brazo controlado por un servosistema, que se desplaza radialmente desde el interior del disco. Otro servosistema controla la posición de la lente de enfoque con objeto de mantener "enfocada" siempre la pista correcta (como si se tratase de un sistema fotográfico), con independencia del posible alabeo del disco o de alguna irregularidad debida a la rotación.

El disco gira a una velocidad lineal constante de 1,3 m/s y, por tanto, a velocidad angular variable (la velocidad de rotación varía de 500 r.p.m. a 200 r.p.m. conforme el haz láser se desplaza del interior al exterior). La grabación efectuada en el disco es un patrón de hoyos o huecos en una superficie muy reflectante (tiene el aspecto de un disco metalizado). Cuando el haz de luz láser incide en una de las *partes planas* de la superficie metalizada (no en un hoyo), se refleja siguiendo el mismo camino que el haz emisor. Pero en este camino se encuentra un prisma semirreflectante, en el cual, aunque parte de la intensidad de la luz se pierde, otra parte se envía a un fotodetector formado por un conjunto de fotodiodos. Cuando el haz de luz láser emitido incide en uno de los *hoyos* de la superficie metalizada del disco dicha luz se dispersa, pues está enfocada a la parte plana y no al hoyo, y por tanto muy poca cantidad regresa hacia el prisma semirreflectante.



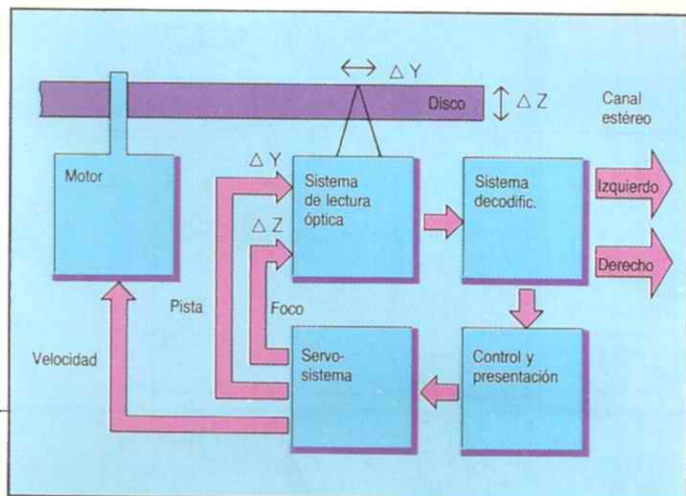
Dibujo esquemático del funcionamiento de la *linterna láser*. La luz láser, generada en el *diodo especial* situado en su base, atraviesa un prisma semirreflectante y un sistema de lentes que lo mantienen enfocado de forma nítida sobre la pista del disco. El haz de luz láser, reflejado en el disco, vuelve a pasar por el sistema de lentes hasta el prisma semirreflectante, donde se desvía hacia el fotodetector.

La serie de planos y hoyos de las pistas del disco produce, pues, una serie de impulsos sobre el fotodetector o una carencia de ellos. De esta forma se recuperan los datos digitales (*bits*) grabados.

Dado que la lectura es óptica, el *fonocaptor* no produce desgaste alguno en el disco (como ocurre con la aguja de los giradiscos convencionales). Además, la superficie reflectante del disco está cubierta con un plástico transparente, que proporciona una protección permanente contra agresiones externas. Así, las rayaduras, el polvo y la suciedad de la superficie exterior tienen muy poco efecto, ya que el gran ángulo de abertura de la lente de enfoque mantiene esas irregularidades fuera de foco.

El sistema de lectura óptico utilizado en el lector del *compact-disc* asegura una exactitud de lectura y una densidad de información digital tan elevadas que ningún sistema mecánico podría conseguirlo.

Véase **Disco fonográfico; Láser**




Doc. Philips

Esquema funcional de un lector de *compact-disc*. Un motor eléctrico de alta precisión hace girar el disco. El fino pincel de luz láser lee la información grabada digitalmente en el disco. Esta información se divide en información de audio y de control para activar servosistemas (por ejemplo, enfoque y seguimiento de pista). El sistema de codificación convierte las señales digitales *de audio*, extraídas del disco, en otras inteligibles por el oído o *analógicas*; finalmente estas señales, los canales derecho e izquierdo, son enviados al amplificador del equipo de alta fidelidad. Mientras tanto, las *informaciones de control*, igualmente grabadas en el disco, activan un servosistema que es el encargado de corregir algunas imperfecciones del disco (alabeo, por ejemplo) y de hacer el seguimiento de pista.



# Disco fonográfico

La ciencia de grabar sonidos en disco ha recorrido un largo camino desde que Thomas Edison inventara el fonógrafo en 1877. El aparato ideado por él utilizaba las vibraciones sonoras para imprimir surcos en relieve sobre papel de estaño, y las reproducía al volver a pasar sobre ellos una aguja mientras giraban accionados por una manivela. Si bien en forma primitiva, aquella máquina utilizaba los mismos principios usados en la moderna producción de discos. Hoy, las vibraciones sonoras se utilizan para trazar un surco en espiral sobre un disco de plástico; cuando una aguja sensible a la vibración recorre y "lee" ese surco, se reproduce el sonido original.

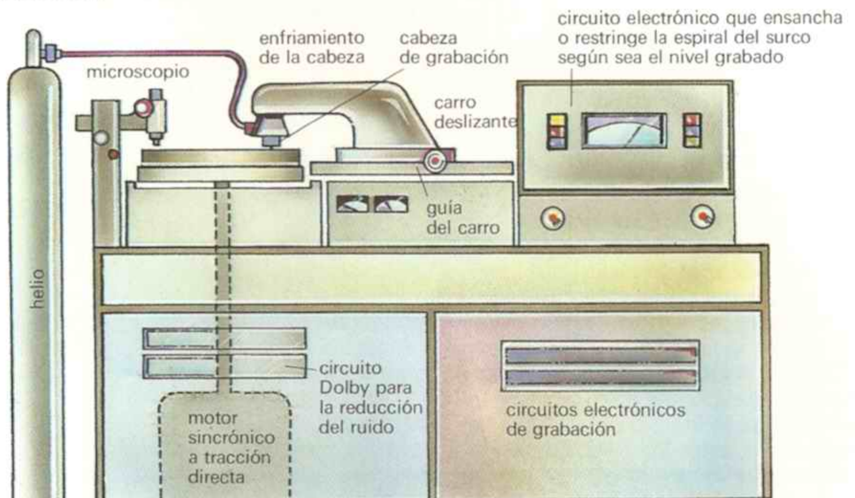
**Proceso de grabación** Las grabaciones más antiguas no eran fieles. Edison se servía de la variación de la presión del aire producida por las vibraciones naturales procedentes del sonido real para mover directamente el aparato grabador. En los métodos modernos de grabación, las ondas sonoras se transforman en impulsos eléctricos en el momento mismo en que alcanzan un micrófono, siendo éste el mejor método para controlar y amplificar dichas vibraciones. Estas señales se graban en cinta magnética y después se reelaboran electrónicamente para eliminar los ruidos indeseables y para "ecualizar" el sonido.

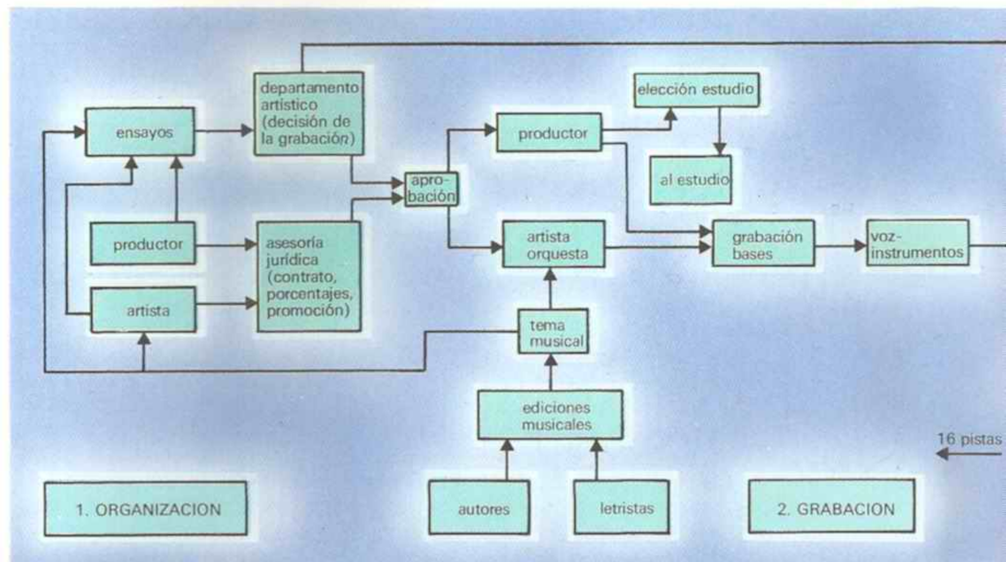
Cuando la grabación en la cinta está "limpia", se envía a un amplificador que controla los impulsos eléctricos. El amplificador transporta las señales hasta un fonograbador, instrumento que se vale de las variaciones eléctricas para mover una aguja. Dicha aguja responde a los impulsos trazando unos surcos en espiral sobre un trozo de plástico blando que gira sobre un plato metálico.

La aguja marca el surco moviéndose de un lado a otro; este proceso, que tomó el nombre de *grabación lateral,* fue patentado por Emile Berliner en 1896, y sustituyó al método utilizado por Edison, en el que todos los surcos tenían la misma anchura y variaban únicamente en profundidad. Las ondulaciones en el surco corresponden a la altura y al volumen del sonido, determinando por tanto la frecuencia y amplitud del sonido que se oye cuando se vuelve a escuchar la grabación.

Una vez que se han grabado los surcos, se recubre el plástico con acetato y se chapa en metal, obteniendo así el disco original o *master* (o maqueta). El paso siguiente consiste en hacer el molde que se usará posteriormente para producir copias del disco. Para ello, la maqueta se recubre con otra capa de acetato que también se chapa en metal. Retirando ese revestimiento se obtiene una imagen en negativo de la maqueta; de esa manera los surcos del disco original producen una serie de crestas sobre el molde. Este último se utiliza para moldear una imagen en positivo de la grabación de la maqueta sobre plástico vinílico (cloruro de polivinilo) en forma de disco. Este proceso, que

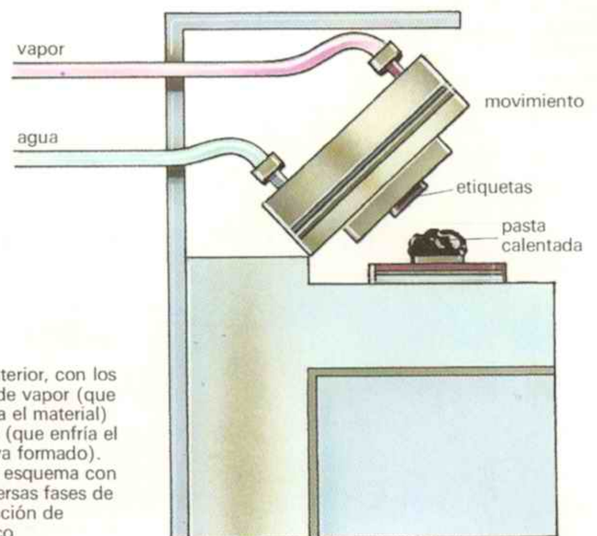
**MAQUINA PARA GRABACION DEL DISCO (TRANSFER)**




La máquina para grabar el disco es un torno que trabaja sobre un plano horizontal; el disco está colocado sobre un plato que gira a una velocidad establecida y la aguja marca sobre su superficie un surco en espiral. La prensa (a la derecha) está formada por una plancha de fundición que comprime una bolita de pasta contra un molde. En el tipo de inyección-compresión (dibujo y fotografía de la derecha), la pasta penetra por el agujero central del disco, impulsada por un sistema de inyectores a presión. Cuando la pasta está entre los moldes, avanza un émbolo a presión; después se procede, como en el tipo anterior, con los ciclos de vapor (que calienta el material) y agua (que enfría el disco ya formado). Arriba: esquema con las diversas fases de producción de un disco.

**PRENSA A COMPRESION DE CARGA MANUAL**



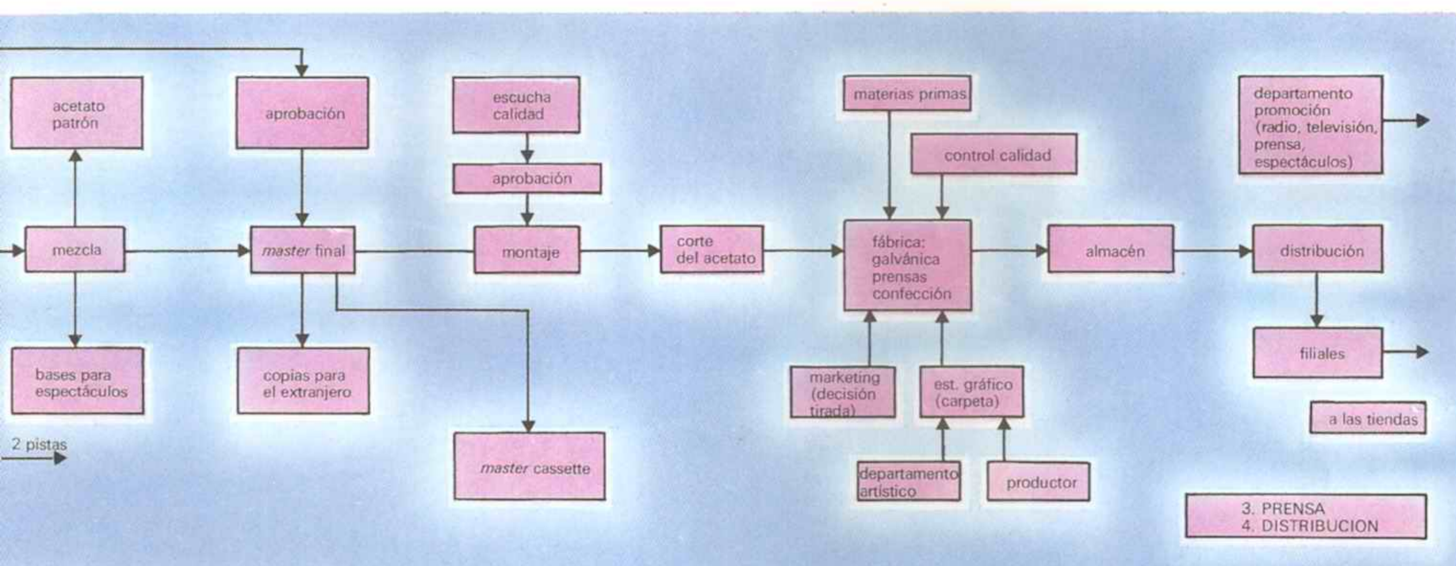
es también invención de Berliner, hace posible la producción de un número ilimitado de copias.

**Los perfeccionamientos estereofónicos** La grabación estereofónica representó un paso adelante respecto de los métodos mencionados anteriormente, que se utilizan para la grabación *monoaural* o de trazo sencillo. En la grabación estereofónica se emplean micrófonos para recoger los sonidos; los impulsos electrónicos resultantes se envían por dos o más canales separados. La aguja grabadora traza los surcos moviéndose horizontal y verticalmente; en consecuencia, se marcan dos canales distintos sobre ambos lados del surco. Estos canales separados se oyen distintamente utilizando dos altavoces capaces de reproducir sonidos de frecuencias distintas. De esta forma se obtiene una reproducción músical mucho más fiel al sonido original de la que es posible obtener utilizando un equipo "mono" de grabación y reproducción.

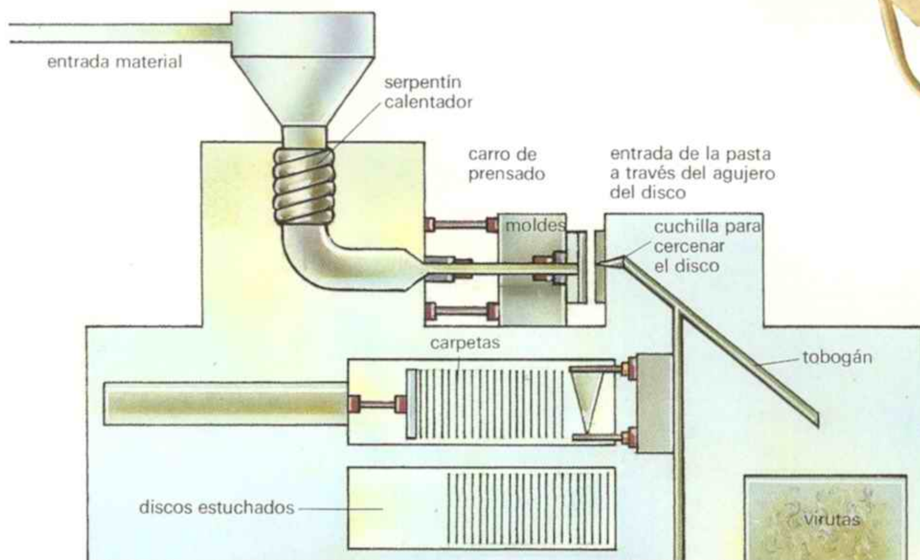
**Velocidad de reproducción** Las copias del disco para poder reproducir exactamente el sonido deben escucharse a la misma velocidad con la que se grabaron. Las antiguas grabaciones se hacían a 78 revoluciones por minuto. En 1948 se bajó la velocidad hasta 33 y 1/3 revoluciones por minuto (*long-playing*) y a 45 revoluciones (*microsurco*). Esta innovación permitió que se pudiesen realizar grabaciones de mayor duración sobre el mismo tamaño de disco.

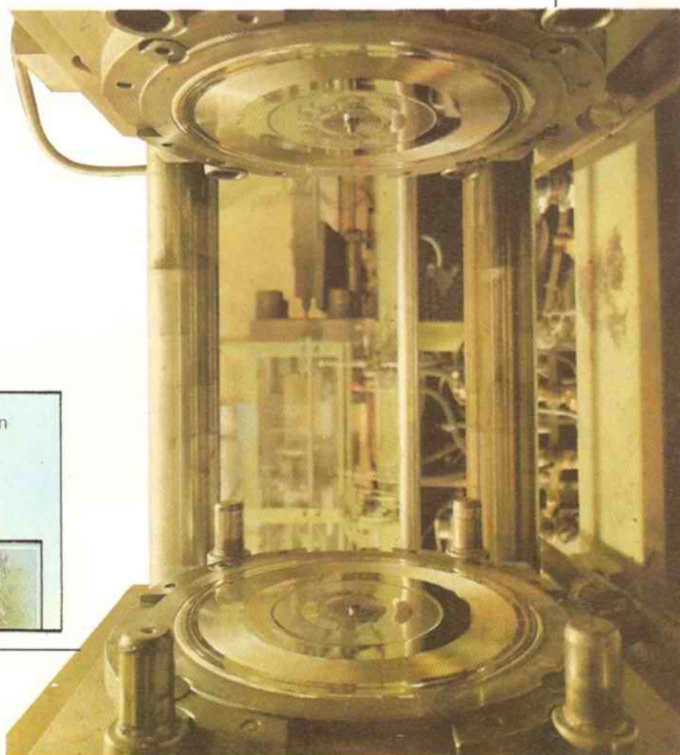
**Equipo reproductor de sonido** La aguja reproductora termina en una punta, generalmente de diamante; dicha aguja, que está conectada a un transductor o *pick-up*, se instala en el extremo de un brazo y es sensible a las más pequeñas variaciones presentes en los surcos del disco. Estos surcos forman una espiral continua desde el borde externo del disco hacia el centro. Los perfiles ondulados de los surcos producen vibraciones en la aguja que se transforman en energía eléctrica en el transductor. En el equipo de reproducción para discos estéreo, la aguja manda la señal a dos transductores que están montados de manera que forman un ángulo de 45° respecto de la superficie del disco, para poder recoger así las dos señales. Seguidamente, después de la amplificación, las señales eléctricas producidas por los movimientos de la aguja reproductora pasan a los altavoces, donde se transforman nuevamente en ondas sonoras audibles.

Véase **Alta fidelidad; Tocadiscos; Transductor**




PRENSA AUTOMATICA A INYECCION-COMPRESION



# Diseño con ordenador

Los diseñadores industriales del futuro no tendrán que utilizar ya heliografías. En vez de trabajar lentamente en los detalles de un proyecto sobre el tablero de dibujo, se podrán sentar delante de una pantalla para crear en unos minutos un modelo tridimensional, en color, de una máquina o de una parte de ella. Este modelo se podrá comprobar simulando esfuerzos y situaciones que vaya a sufrir la pieza, de forma que cualquier defecto o inconveniente salga rápidamente a la luz.

El paso siguiente podría ser conectar el ordenador descrito a una cadena de robots industriales y a ordenadores de diseño, que pueden leer ese modelo electrónico y realizar el producto acabado sin dificultad y con sólo apretar un botón. Actualmente, con el diseño asistido por ordenador se realizan instalaciones, mecanismos y componentes de todo tipo, como máquinas herramientas, circuitos integrados, motores de explosión, tractores, aviones, vehículos espaciales, armas láser, industrias petroquímicas, construcciones y partes de robots. Al mismo tiempo se ha descubierto que en el campo financiero el ordenador gráfico ayuda mucho presentando grandes masas de información en la forma adecuada, datos que en caso contrario tendrían que presentarse en complicadas e incómodas gráficas y tablas.

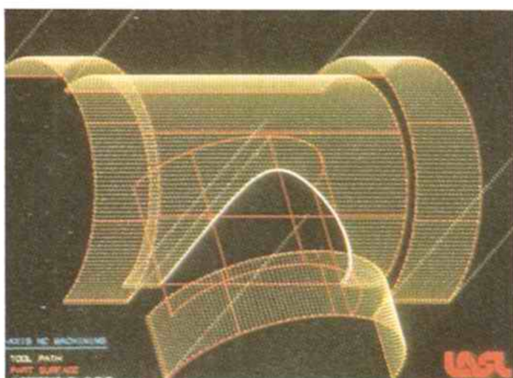
**Diseño con números** En cierto sentido, el ordenador representa sus imágenes en la pantalla a través de números. En la máquina se introducen centenares de instrucciones que contienen información sobre la forma de sólidos geométricos, como esferas, conos, cilindros y otras formas definidas matemáticamente que se utilizan como base para las imágenes que se realizarán. Con estos sólidos geométricos se pueden construir, combinándolos adecuadamente, formas compuestas de todo tipo,



El diseñador que trabaja con un ordenador sólo necesita tener cerca un terminal para introducir los datos, ya que el ordenador puede estar en otra parte. Aquí abajo, terminal con un trazador gráfico para obtener planos.

El diseño en conjunto se compone de varias partes: la primera es la intervención de la estructura, la segunda etapa es el dimensionamiento de las distintas partes, y la tercera, la representación constructiva. Arriba, en la página siguiente, puede verse cómo ayuda el ordenador en la representación de la estructura: la intersección de formas simples, como cilindros, se complementa con la posibilidad de trazar vistas axonométricas en el espacio de distintos elementos. El dimensionamiento de la estructura se realiza con cálculos; esta actividad permanece escondida en la máquina y lo seguirá estando hasta que se determinen las dimensiones finales.

Hewlett Packard






Arriba, dos piezas de carpintería en la fase de "concepción" en la mente del ordenador. Debajo, la esfera de una pelota de golf, cuya representación es similar a la esfera de un satélite geodésico.

Bajo estas líneas, y entre ambas páginas, puede verse una imagen ilustrativa de la máquina más útil en la fase final del diseño: el trazador gráfico para el dibujo de planos sobre papel.

ya que los sólidos se pueden manipular de muchas maneras. Un ejemplo elemental es la forma en que se puede realizar matemáticamente un agujero extrayendo un cilindro de un bloque.

Además de todas esas figuras geométricas que están almacenadas en la memoria en forma de ecuaciones, el diseñador tiene a su disposición los miles de puntos luminosos de la pantalla, llamados *pixels* (elementos de imagen), que se utilizan para representar las imágenes destacando ciertos aspectos, como pueden ser los bordes o las zonas de luz y de sombra. Las pantallas gráficas de los ordenadores suelen ser de color, lo que permite representar más información, separando partes con distintos colores o superponiendo zonas.

Existe además el *lápiz luminoso*, dispositivo fotoeléctrico que permite al usuario registrar como dato de entrada el contorno del dibujo directamente sobre la pantalla o modificar el que se ha trazado a partir de los datos geométricos de la memoria. Cuando se diseña a partir del amplio archivo de formas geométricas y ecuaciones matemáticas existente en la memoria, se pueden realizar rápidamente imágenes estáticas en tres dimensiones, pero se pueden obtener también imágenes dinámicas. El usuario puede de esta forma desplazar la imagen en la pantalla, hacer que gire respecto a un eje o simular con algún modelo matemático las reacciones al desgaste.

Los ordenadores para tratamiento de imagen son muy útiles también en los proyectos químicos, ya que se pueden comprobar modelos moleculares de sustancias medicinales nuevas. Los investigadores utilizan los ordenadores para ver las estructuras moleculares de compuestos nuevos y para prever los efectos de posibles reacciones posteriores cuando sean aplicadas.

**De la Luna a Hollywood** El ordenador para simulación de vuelo —que simula y representa en una pantalla todos los detalles reales, desde la formación de nubes hasta las luces de la pista— se utiliza para la preparación de los pilotos, proporcionando todas las condiciones de vuelo para que tengan práctica antes de pilotar un avión real. La NASA, uno de los primeros entusiastas de esta técnica, ha probado, simulándolos con un ordenador, tanto el alunizaje como las distintas fases del proyecto *Viking*.

Los militares también han utilizado la simulación con ordenador para probar algunos dispositivos.

Estas técnicas también han llegado al cine, donde partiendo de los dibujos animados han ido progresando hasta hacer escenarios sintetizados en tres dimensiones. A nuestro alrededor existen multitud de juegos electrónicos que utilizan ordenadores con pantalla para representar escenarios donde se desarrollan todos los juegos posibles.

Véase **Animación cinematográfica por ordenador; Juegos electrónicos**

Los Alamos

# Disolventes

Existen muchas aplicaciones científicas e industriales de los disolventes, aunque también están muy presentes en la vida cotidiana: café soluble, o preparación de caldos a partir de productos concentrados, disolución de levaduras para la repostería, etc. En todos estos casos, el disolvente por excelencia es el agua.

**Disolventes, solutos, soluciones** Toda disolución requiere al menos dos sustancias, una llamada *soluto*, que es la que se disuelve, y otra llamada *disolvente*, que es la sustancia en la que se disuelve el soluto. La mezcla final que se forma, y que comprende disolvente y soluto, se llama *solución*, que es una sustancia en la cual las partículas químicas están mezcladas homogéneamente. Las partículas que no se disuelven totalmente tienden a depositarse; de ellas se dice que están en *suspensión*.

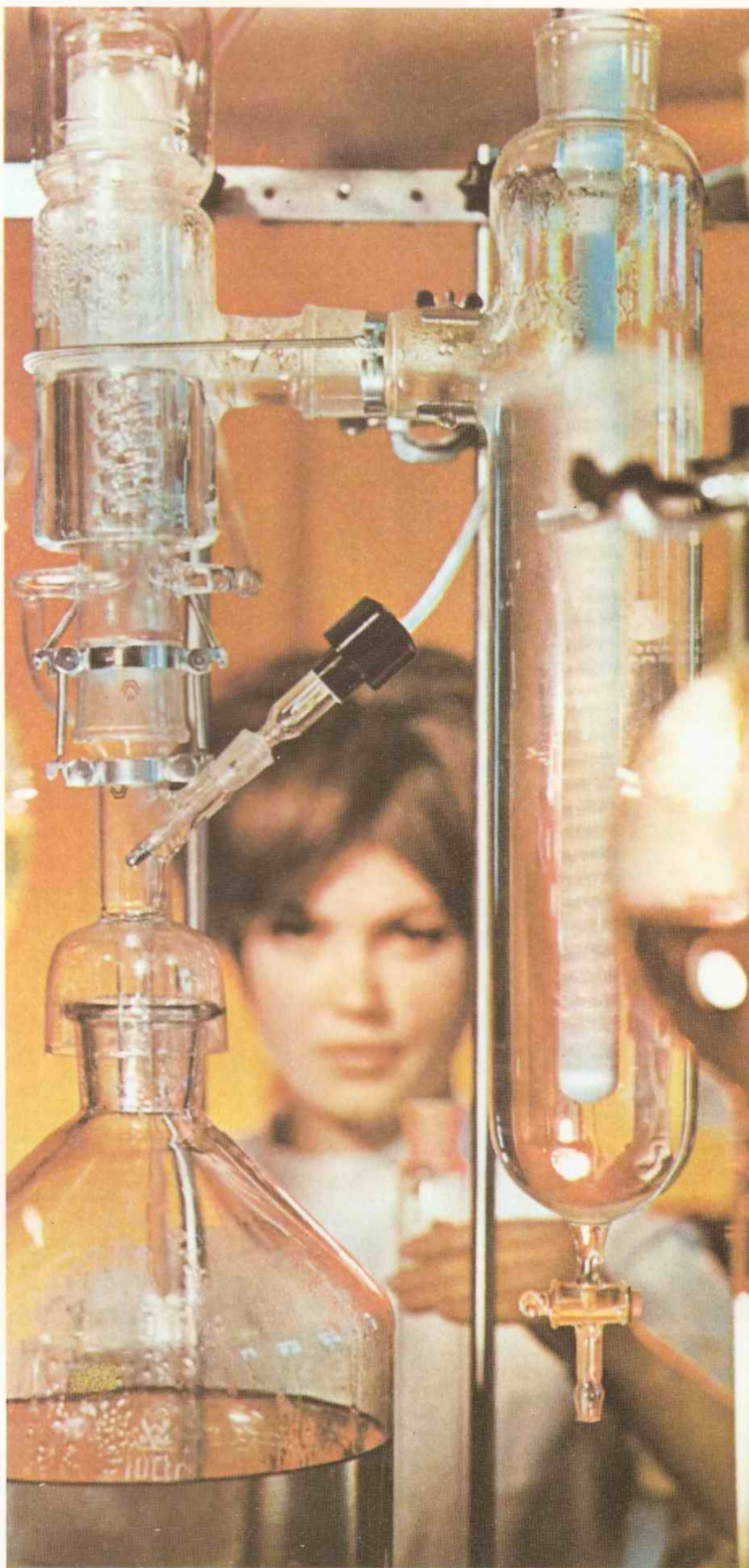
La gran mayoría de las disoluciones son líquidas, ya que lo son casi todos los disolventes. Por el contrario, los solutos son, en general, sólidos, si bien pueden ser también gaseosos o líquidos.

Comúnmente, la sustancia que está presente en mayor cantidad en la disolución es considerada el disolvente, aunque es posible que una cantidad pequeña de una sustancia (disolvente) pueda disolver una cantidad mayor de otra sustancia (soluto).

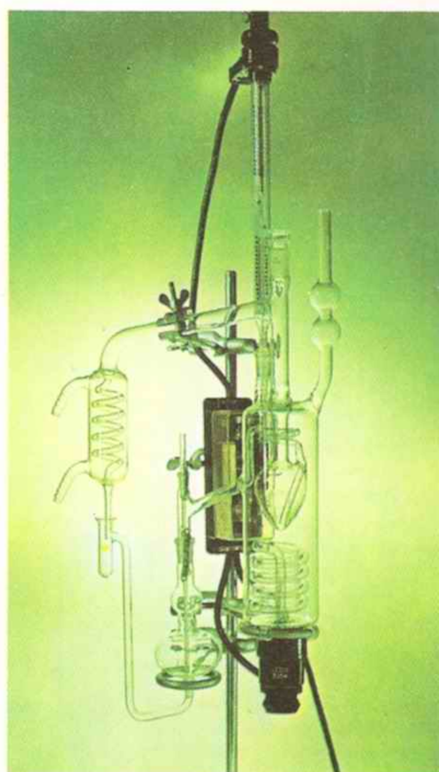
El recurso a las disoluciones es particularmente útil en la Química, donde las reacciones ocurren gracias a las combinaciones de distintos elementos. En estado sólido, dos compuestos mezclados apenas reaccionan entre sí. Si, por el contrario, se mezclan con un disolvente, las moléculas de los reaccionantes gozan de libertad para desplazarse dentro del disolvente (fluido), y al encontrarse reaccionan entre sí de acuerdo con esquemas completamente previsibles.

**Disolventes volátiles** Numerosos procesos industriales utilizan disolventes muy diversos. Ciertos usos son frecuentes en la vida doméstica: por ejemplo, en la preparación de pinturas. Estos productos, y prácticamente todos los tipos de recubrimientos protectores, contienen disolventes para conservarlos en forma líquida hasta el momento de la utilización. Los pigmentos minerales que dan su color a las pinturas y las sustancias aglutinantes contenidas en los barnices utilizados para recubrimientos protectores están todos dispersos en disolventes y conservados en botes cerrados. Muchos productos modernos de este tipo están disueltos en agua; esto significa que el disolvente principal que los mantiene en estado líquido y que facilita su aplicación práctica es el agua.

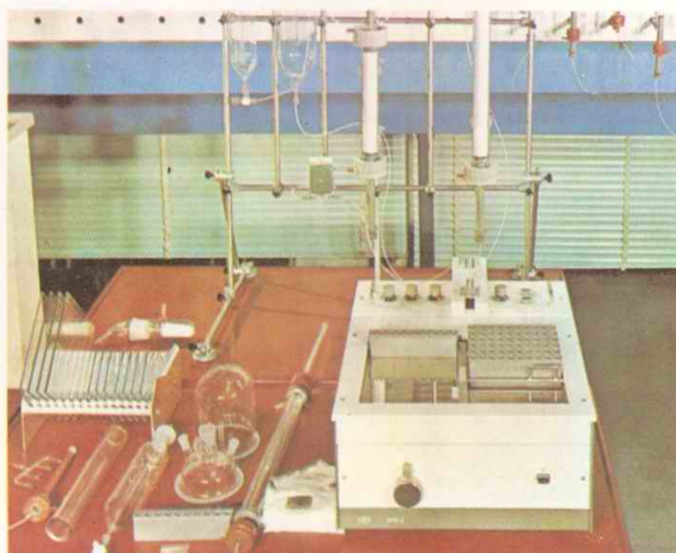
Otros productos utilizan pigmentos o sustancias protectoras, pero no se disuelven en agua, sino que se valen de otros disolventes, generalmente derivados del petróleo, como el benceno. Con todas estas sustancias, la disolución líquida se transforma en un recubrimiento sólido



| CARACTERISTICAS DE ALGUNOS DISOLVENTES COMUNES | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| nombre | fórmula química | masa molecular | peso específico | punto de ebullición (°C) | calor específico (cal/g °C) | calor latente evaporación (cal/mol) | tensión de vapor | solubilidad en agua (g/l) |
| acetona | $CH_3COCH_3$ | 58,55 | 0,780 a 25 °C | 56 | 0,51 | 7,6 | 2,12 atm a 80 °C | ∞ |
| alcohol etílico | $C_2H_5OH$ | 46,05 | 0,785 a 25 °C | 78,3 | 0,68 | 9,4 | 1,56 atm a 90 °C | ∞ |
| alcohol metílico | $CH_3OH$ | 32,03 | 0,786 a 25 °C | 64,4 | 0,60 | 9,1 | 1,76 atm a 80 °C | ∞ |
| éter etílico | $(C_2H_5)_2O$ | 74,007 | 0,707 a 25 °C | 39,5 | 0,50 | 6,15 | 3,94 atm a 80 °C | 7,42 a 20 °C |
| sulfuro de carbono | $CS_2$ | 76,14 | 1,26 a 20 °C | 46,2 | 0,25 | 6,4 | 298 mm a 80 °C | 0,218 a 20 °C |
| tricloroetileno | $CHCl=CCl_2$ | 131,39 | 1,45 a 25 °C | 86,9 | 0,22 | 7,5 | 385 mm a 65 °C | insoluble |
| hexano normal | $C_6H_{14}$ | 86,17 | 0,6769 a 4 °C | 68 | 0,527 | 6,8 | 120 mm a 20 °C | insoluble |
| heptano normal | $C_7H_{16}$ | 100,20 | 0,7018 a 4 °C | 98,4 | 0,504 | 7,4 | 35,5 mm a 20 °C | insoluble |



Sobre estas líneas y en la página anterior, dos tipos distintos de aparatos para la destilación: en vacío (arriba) y con agua (en la página anterior). Con estos aparatos se han estudiado los comportamientos de los distintos disolventes y solutos para poder utilizar las sustancias que estén en situación de dar los mejores resultados, tanto en rendimiento como en seguridad.



La utilización de la cromatografía y de las distintas disoluciones ha permitido revolucionar las técnicas de investigación en el campo químico y en el biológico. El aislamiento y la determinación de muchas sustancias de importancia fundamental han sido posibles solamente por la utilización de disoluciones apropiadas y de técnicas cromatográficas perfeccionadas, permitiendo alcanzar un nivel muy alto de precisión. La técnica de la cromatografía es también fundamental en la investigación genética.

cuando el disolvente se deja evaporar después de la aplicación.

También en la producción de las sustancias sintéticas se hace gran uso de disolventes. Los materiales plásticos, por ejemplo, se fabrican por medio de procedimientos de polimerización de hidrocarburos y de sustancias análogas (la polimerización es la formación de largas cadenas de moléculas).

De la misma forma que en la producción de las pinturas, las materias primas para la obtención de las sustancias plásticas se disuelven en determinados disolventes donde se polimerizan después con ayuda de catalizadores específicos.

**Disolventes para usos repetidos** En la industria textil, los mismos disolventes son utilizados repetidamente, disolviendo en ellos las materias primas necesarias e hilando después el hilo que servirá para la preparación de los tejidos directamente desde la disolución. En la producción del rayón, por ejemplo, no hacemos otra cosa que imitar al gusano de seda. Disolvemos la celulosa (que es una sustancia vegetal) en un disolvente; esto se asemeja mucho a la digestión de las hojas de morera por parte del gusano.

La sustancia mucilaginosa que se produce se hace pasar a través de los agujeros de una hilera, análogamente a como el gusano de seda segrega el hilo por un orificio situado en su abdomen. El hilo se endurece después por la acción del aire libre sobre los compuestos químicos que lo forman.

**Disolventes extractivos** La capacidad de algunas sustancias para disolver selectivamente ciertos solutos es utilizada en distintos casos. Por ejemplo, el lavado en seco de prendas de vestir no es otra cosa que una "extracción" de las manchas y de la suciedad mediante un compuesto clorado de un hidrocarburo que las disuelve selectivamente, dejando intacto el tejido. La mayor parte de los disolventes, a excepción del agua, desprenden vapores de olor intenso, frecuentemente desagradables y tóxicos. Muchos se evaporan rápidamente, lo que explica la facilidad con que se difunden en la atmósfera circundante. En la industria se controla y minimiza al máximo el porcentaje de disolventes tales como amoníaco, benceno y percloroetileno que pasan al ambiente, porque son dañinos para la salud de los operarios. En cambio, otros disolventes, como los acetatos de amilo y de etilo y algunos más, tienen un olor agradable y se utilizan en perfumería y en el sector de los aromatizantes sintéticos.

Véase **Cloruro de polivinilo; Colorantes; Polímeros**

# Dispositivo analógico

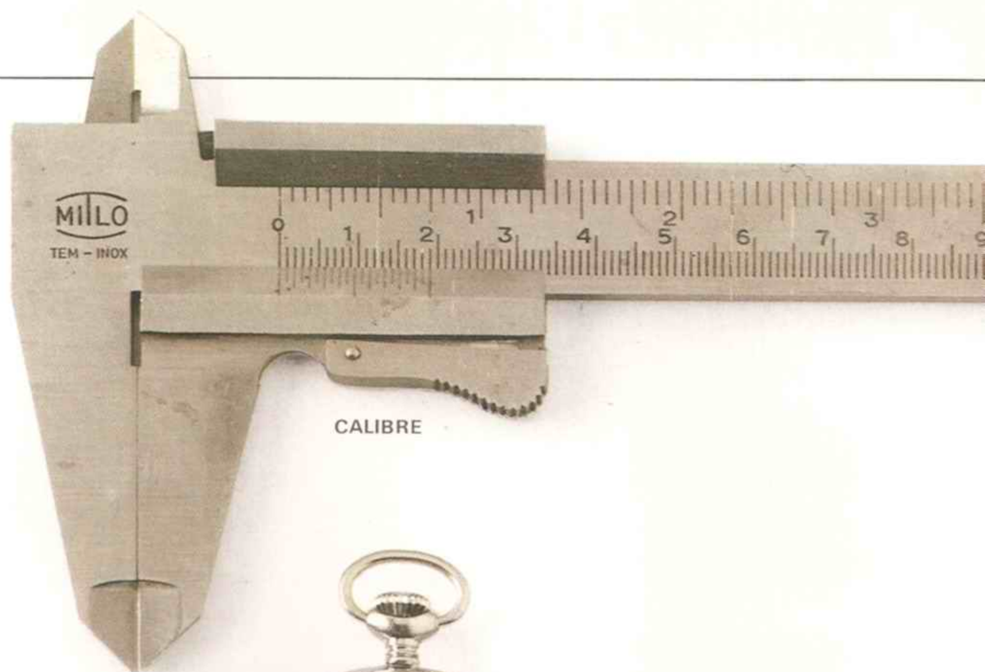
Cuando nacieron las primeras civilizaciones surgió también la necesidad de medir y representar las magnitudes.

Por ejemplo, para medir una longitud no hay nada más sencillo que compararla con la de un bastón de madera. Se puede coger una rama fina y cortarla hasta que su longitud sea igual a la del objeto cuya medida queremos recordar o trasladar. De esta forma sólo tiene un uso, aunque puede servir más veces si los objetos son más pequeños o, como mucho, iguales al medido la primera vez. De esta forma nace la idea de pulir un asta de madera y hacerle unas marcas separadas en intervalos regulares: cuando se quiera medir la longitud de cualquier objeto, se marcará o recordará la muesca en la que acaba la longitud del mismo, empezando por la primera a la izquierda. Esta es la descripción de la conocida regla de dibujo, o de una cinta métrica.

Un instrumento de este tipo se llama *analógico*, ya que mide y conserva la magnitud que se quiere determinar a través de algo que es análogo. Por ejemplo, la regla mide la longitud de un objeto con la distancia entre dos marcas; la existencia de las marcas hace innecesario el romperla para hacer la analogía perfecta. En muchos instrumentos el método de reproducción de la magnitud también es analógico, aunque la analogía se encuentre después de un breve razonamiento. Por ejemplo, un reloj clásico de agujas mide y representa el tiempo por medio de la rotación de sus agujas: un giro son doce horas para la corta, una hora para la larga y un minuto para la pequeña. El velocímetro de los automóviles indica la velocidad del vehículo a través de la rotación de una aguja: en el cuadrante sobre el que gira está representada la velocidad en kilómetros por hora. Cuanto mayor es la velocidad del vehículo, mayor es el giro (en sentido horario).

Regla, velocímetro y reloj son instrumentos mecánicos y analógicos, igual que muchísimos instrumentos de medida utilizados hasta hace pocos decenios. Algunos permitían hacer cálculos en vez de medidas: haciendo deslizar de determinada forma dos reglas graduadas una dentro de la otra, se tenía la posibilidad de. realizar multiplicaciones de forma rápida, este instrumento se llamaba *regla de cálculo*, y era el único dispositivo de cálculo rápido que se usaba antes de la introducción de las pequeñas calculadoras electrónicas de bolsillo.

Una magnitud se puede medir de forma indirecta con un dispositivo analógico a través de otra. Desde el principio de este siglo, muchos aparatos de medida están basados en el uso de la electricidad: se utiliza el valor de una tensión o corriente para representar una magnitud. Por ejemplo, si se hace circular una corriente eléctrica por un hilo y se le aplica una fuerza de forma que se estire, la corriente eléctrica que lo atraviesa variará, y del valor de esta variación se podrá obtener el valor del esfuerzo a que está sometido.



CALIBRE



RELOJ ANALOGICO



RELOJ DIGITAL

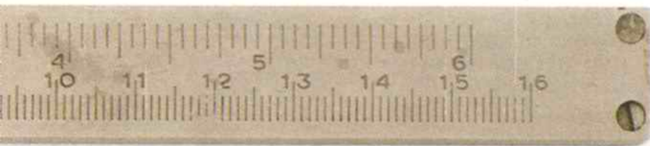
Dos relojes, de los que el de la izquierda se define como "analógico". De hecho, la esfera permite leer el tiempo como un ángulo, el formado por las agujas. La amplitud del ángulo es proporcional al tiempo transcurrido; de aquí procede el nombre de analógico. En el de la derecha, en cambio, la lectura del tiempo está directamente en cifras, y por tanto es digital.

Se pueden encontrar muchísimos más ejemplos de este tipo, pero es interesante recordar que, después de haber realizado algunas medidas, puede ser necesario hacer cálculos con sus valores; estos cálculos se pueden llevar a cabo con dispositivos eléctricos. Por ejemplo, si se ha medido una longitud en voltios (medida de tensión eléctrica) y otra longitud también en voltios, la suma de los voltios dará el valor de la suma de las longitudes. También es posible multiplicar o dividir, aunque es algo más complicado. En la instrumentación industrial y científica ha aumentado la importancia de las medidas y operaciones efectuadas con estas técnicas.

Ha nacido de esta forma una rama de la electrónica que ofrece componentes electrónicos simples capaces de tratar las señales eléctricas como magnitudes sobre las que se realizan operaciones. Estos componentes electrónicos pueden realizar sumas, restas, multiplicaciones, divisiones y también operaciones típicas del álgebra e incluso del cálculo infinitesimal, necesarias en muchas aplicaciones.

Hasta los años cincuenta esos dispositivos electrónicos se construían montando cada uno de los elementos en soportes de plástico aislante, con un gran trabajo para su diseño y realización. Ahora se realizan a tamaño microscópico sobre una plaquita cuadrada o rectangular de pocos milímetros de lado. Hay una gran variedad y se eligen a través de los catálogos de las casas fabricantes. La aparición de estos componentes no sólo ha permitido llevar a cabo fácilmente funciones complejas, sino también ha facilitado el trabajo del especialista en electrónica; de hecho, muchas revistas científicas de divulgación tienen artículos en los que se explica el proceso de construcción de estos instrumentos.

Cuando se habla actualmente de "dispositivos analógicos", se hace alusión casi exclusivamente a los que están integrados en una sola pastilla de cerámica y recogidos dentro de una protección de plástico,




A la izquierda, un calibre de taller. La lectura de la distancia entre las mordazas se realiza en la escala de la platina dividida por las marcas; la apertura del calibre se lee de esta forma sobre algo que es proporcional a la misma apertura: es por tanto proporcional o analógico.

de la que salen finas láminas metálicas, casi siempre doradas, que se utilizan para las conexiones eléctricas, o sea, para introducir y extraer las señales eléctricas que conlleva la función específica desarrollada por el circuito. En cualquier caso, para entender el funcionamiento de dispositivos de este tipo, es necesario a menudo referirse a los dispositivos mecánicos o hidráulicos que éstos simulan con su analogía.

El término opuesto a "analógico" es *digital;* una medida, una representación o un cálculo realizados de forma digital se hacen con cifras. El ejemplo típico de la representación digital es el del reloj de pulsera que ofrece la lectura del tiempo en cifras, o el de la calculadora electrónica de bolsillo. A estos instrumentos les es fácil presentar los valores de su resultado de esa forma porque operan con cifras y no con magnitudes analógicas. Por ejemplo, para llevar a cabo una operación aritmética con una calculadora digital se introducen los valores de los números en forma de cifras y la máquina opera con ellas: el resultado es una cifra. De todas formas es tan importante y útil en muchos casos operar con métodos analógicos, que se han desarrollado dispositivos capaces de traducir un número que está en forma digital a una magnitud, (por ejemplo, una tensión de valor proporcional al número). Estos dispositivos se llaman conversores *digital-analógico* o CD/A, y se utilizan a menudo junto con los circuitos analógicos. Estos últimos ofrecen, respecto a los digitales, grandes velocidades de cálculo con un coste muy bajo; sin embargo, su precisión es menor, y éste es el factor básico que limita su uso en las aplicaciones de cálculo más complejas.

Véase **Célula fotoeléctrica; Electricidad, instrumentos de medida**

instrumento para leer la intensidad de corriente proporcional a la intensidad de la luz

fotocélula

condensador usado como integrador analógico de la iluminación

DIAGRAMA DE LA EVOLUCION DE LA ILUMINACION

resistencia para la determinación de las deformaciones verticales

espejo explorador de la luz para la iluminación del campo

enfoque del campo por coincidencia

aguja del fotómetro que indica el tiempo correcto de exposición y apertura

campo de focalización

pila

fotocélula

objetivo

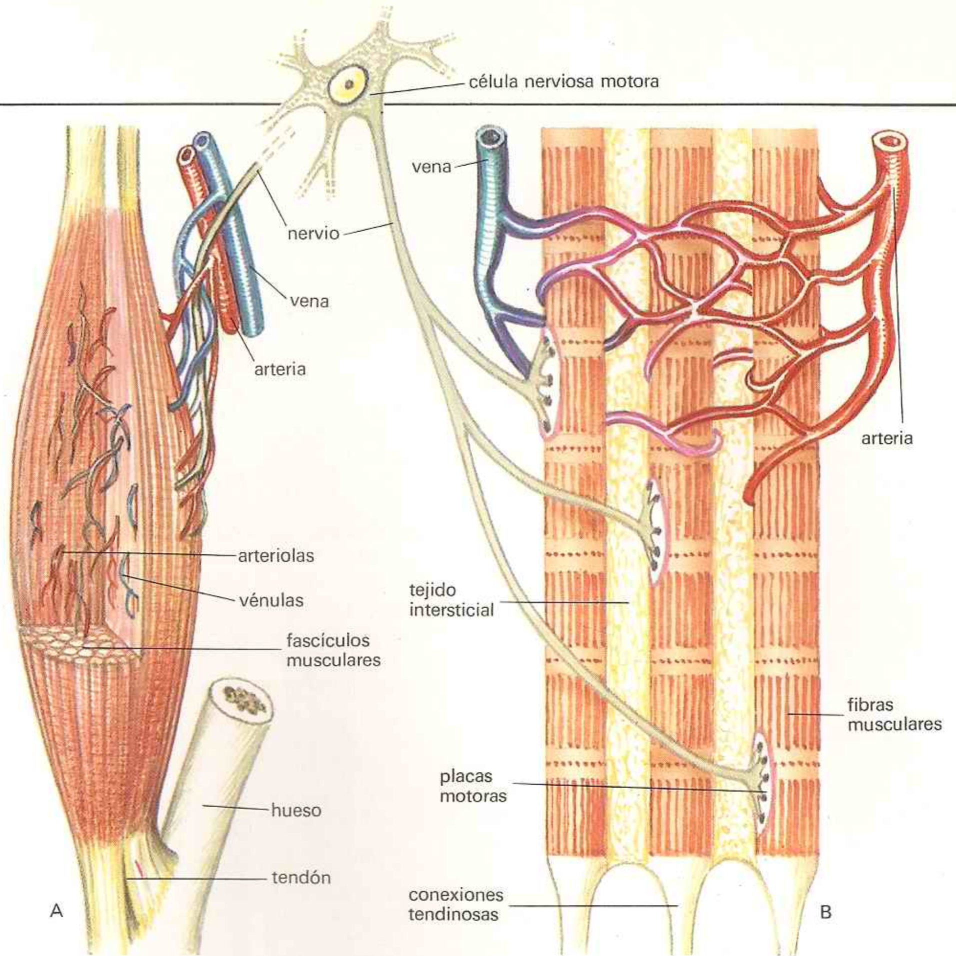
*strain gage* (extensómetro)

En la parte de arriba, el principio por el que funciona un fotómetro analógico. El sol, tapado de vez en cuando por las nubes, envía una luz de intensidad variable a una fotocélula, que la transforma en una corriente de intensidad variable. La corriente se lee sobre un amperímetro, cuya aguja indicará, con un ángulo proporcional a la intensidad de la corriente, el valor de ésta, y en consecuencia el valor de la iluminación solar. Se trata por tanto de un dispositivo que también es analógico. El valor de la corriente se puede integrar en el tiempo por medio de un simple condensador eléctrico. Ambos dispositivos se encuentran en la máquina fotográfica, en la que el primero sirve para indicar el tiempo y el diafragma de la exposición. El segundo, en cambio, puede servir para controlar automáticamente la exposición, cerrando el obturador o apagando el *flash* electrónico cuando la emulsión haya recibido la luz suficiente. Más a la derecha (justo sobre estas líneas) vemos un medidor analógico de deformaciones por resistencia eléctrica o *strain gage.*

# Distrofia muscular

El término *distrofia muscular,* literalmente "músculo escasamente nutrido", se aplica a un grupo de trastornos degenerativos musculares de curso progresivo. A simple vista, el tejido muscular afectado por una distrofia aparece "desnutrido", empequeñecido, fibroso, blando y opaco, es decir, todo lo contrario del músculo sano, que posee un color rosa o rojizo brillante. En el examen microscópico resulta evidente una enorme variación de las dimensiones de las fibras musculares. La fibra muscular normal está constituida por una célula alargada, de grandes dimensiones y provista de 60 a 80 núcleos. Las fibras distróficas presentan núcleos de dimensiones más grandes y en número mucho mayor. Normalmente el aumento de los núcleos en un músculo es índice de regeneración o de renacimiento; en los músculos distróficos, por el contrario, la proliferación de los núcleos no origina la producción de nuevas fibrillas musculares. Aunque se sabe que esta enfermedad es hereditaria, no se conoce hasta la fecha cuál es el mecanismo de bloqueo de la regeneración de las células musculares.

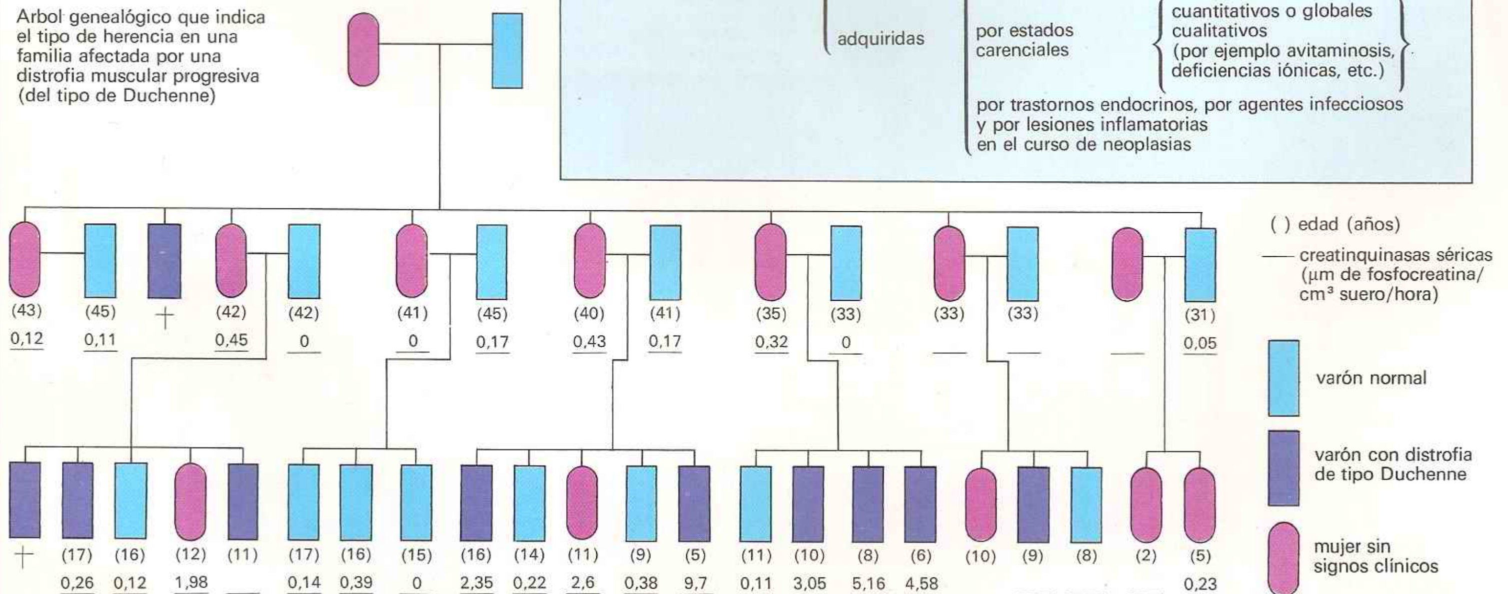
**Formas principales de distrofia muscular** La forma más común y más grave de distrofia muscular es la *distrofia de Duchenne*, así llamada en honor al biólogo francés que la describió por vez primera. Generalmente se manifiesta en niños de 2 a 6 años de edad. Los primeros síntomas son dificultad para pasar desde la posición tumbada o sentada a la posición erecta, para subir escaleras o para caminar. Los músculos de la pantorrilla, a causa de los depósitos de grasa y de tejido cicatricial en sus fibras, se engruesan, es decir, presentan una pseudohipertrofia. En los sujetos afectados por la distrofia de Duchenne, la sangre presenta una tasa excepcionalmente elevada de creatinfosfoquinasa, un enzima de origen muscular. Esto suce-




**ETIOLOGIA DE LAS LESIONES MUSCULARES Y DE LAS MIOPATIAS DISTROFICAS**

LESIONES MUSCULARES ACCIDENTALES Y MIOPATIAS DISTROFICAS

- genéticas
  - por defecto genético conocido
  - por defecto genético desconocido
- adquiridas
  - algunos aspectos de la denervación
  - por factores físicos: mecánicos, térmicos, eléctricos
  - por factores químicos (tóxicos)
  - por trastornos circulatorios
  - por estados carenciales: cuantitativos o globales; cualitativos (por ejemplo avitaminosis, deficiencias iónicas, etc.)
  - por trastornos endocrinos, por agentes infecciosos y por lesiones inflamatorias en el curso de neoplasias




Arbol genealógico que indica el tipo de herencia en una familia afectada por una distrofia muscular progresiva (del tipo de Duchenne)

de debido a que las membranas de las células musculares, a causa de la enfermedad, se vuelven permeables y el enzima, contenido en las células en condiciones normales, puede pasar a la sangre.

La distrofia de Duchenne tiene un desarrollo muy rápido y provoca gravísimas malformaciones físicas. Los músculos pectorales aparecen afectados siempre, originando trastornos en la respiración; la mayor parte de las víctimas muere a causa de complicaciones pulmonares hacia los 25-30 años.

La distrofia de Duchenne es una enfermedad recesiva ligada al sexo, transmitida por la madre a los hijos varones. El sexo de un individuo está determinado en el momento de la concepción por los cromosomas X e Y. El varón tiene un papel decisivo en la determinación del sexo, dado que posee ambos cromosomas X e Y, mientras que la mujer tiene dos cromosomas X. Si se combinan los cromosomas X e Y, se origina un varón; y si se unen dos cromosomas X, se origina una mujer. El padre transmite el cromosoma Y que ha recibido de su padre a todos sus hijos varones, y el cromosoma X que ha recibido de su madre a todas sus hijas. En el caso de la distrofia de Duchenne, el gen de la enfermedad es transportado solamente por el cromosoma X, por ello es transmitido de la madre al hijo. La enfermedad no aparecerá en las hijas porque en éstas su efecto está contrarrestado por el gen normal dominante presente en el otro cromosoma X. Una mujer portadora tendrá el 50% de posibilidades de transmitir el gen normal al hijo.

Debido a que hasta ahora no se ha descubierto ningún tratamiento eficaz, la única posibilidad para combatir la distrofia muscular es la prevención, que consiste en la individualización de los portadores sanos. El principal instrumento es el test de la CPK, que mide la tasa de creatinfosfoquinasa en la sangre. Los sujetos portadores, a pesar de que no presenten síntomas de la enfermedad, poseen una tasa elevada de CPK en la sangre. Esta prueba, que consiste en un análisis de una muestra de sangre, resulta digna de consideración en el 70-80% de los casos, por término medio, y se utiliza también para el diagnóstico precoz de la enfermedad, es decir, antes de que aparezcan síntomas evidentes (conviene recordar aquí que tales síntomas aparecen solamente después de que el 50% de la masa muscular ha sido destruida).

La *distrofia muscular de Becker* es también una enfermedad ligada al sexo que afecta sólo a los varones y que tiene unas características similares a la distrofia de Duchenne. Se manifiesta entre los 5 y los 25 años de edad y se desarrolla más lentamente. A diferencia de las víctimas de la distrofia de Duchenne, los sujetos afectados por la distrofia de Becker pueden vivir hasta una edad avanzada.

**La distrofia muscular de cinturas** Generalmente hace su aparición durante la adolescencia, pero puede manifestarse también hacia los 30 años, ya sea en los varones o bien en las mujeres. Se transmite a los hijos solamente si ambos progenitores son portadores del gen anormal. Debido a que el gen de la enfermedad es recesivo, cada descendiente tiene una posibilidad sobre cuatro de hallarse afecto de tal enfermedad, una posibilidad sobre dos de ser portador sano y una sobre cuatro de no estar afecto de ningún modo. Los primeros músculos que sufren las consecuencias de este tipo de distrofia son los de la cintura pelviana y los de los miembros superiores. Cuando el desarrollo es lento, y esto varía según los casos individuales, el paciente puede vivir hasta edades avanzadas.

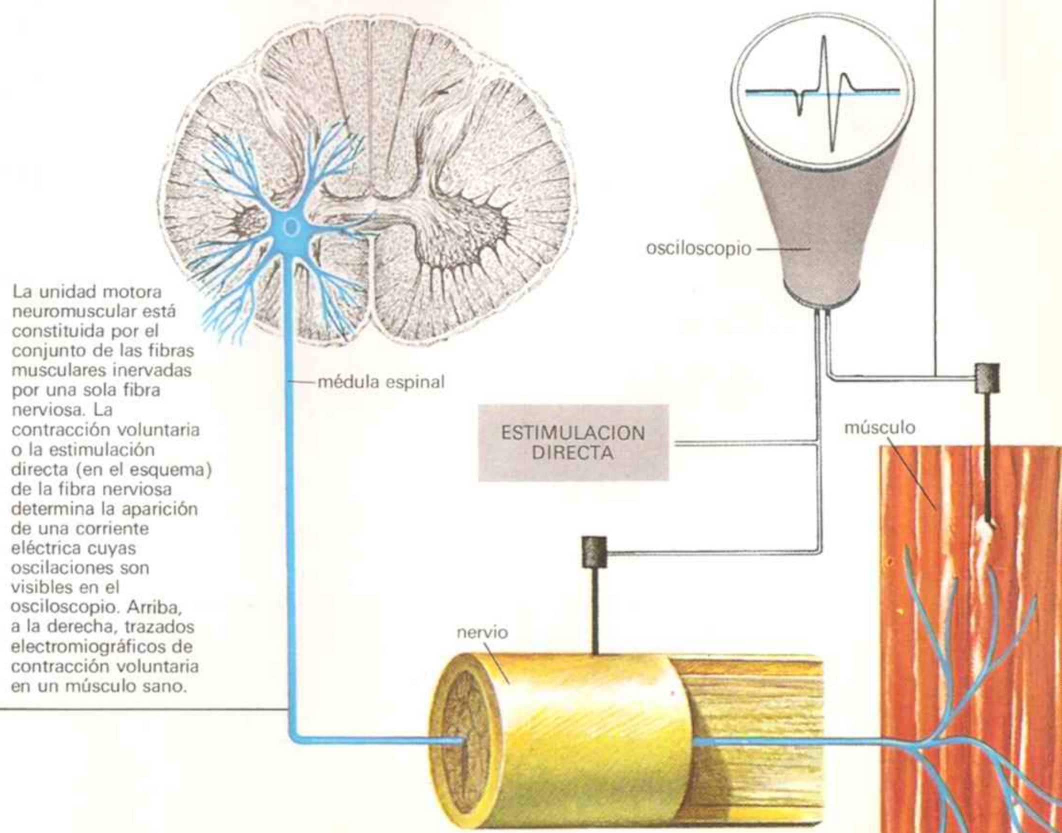
**La distrofia facio-escápulo-humeral** Generalmente aparece durante la adolescencia, aunque el período en el que puede manifestarse va desde la infancia a los 20-30 años de edad. Primeramente se afectan los músculos de la cara, de la cintura escapular y del busto. Su desarrollo es lento, con momentos de remisión intercalados entre fases de mayor debilidad, y no influye en la duración de la vida del paciente. El modelo hereditario de este tipo de distrofia es dominante y no está ligado al sexo; los portadores generalmente están afectados por la enfermedad y sus hijos tienen el 50% de posibilidades de sufrir el trastorno.

**La distrofia miotónica o enfermedad de Steinert** Es un trastorno que afecta tanto a los músculos involuntarios del sistema respiratorio y digestivo como a los músculos voluntarios, sistema nervioso central y glándulas endocrinas. *Miotonía* significa "relajación retardada tras la contracción muscular" y generalmente sus primeras manifestaciones aparecen en la cara, cuello, manos y pies del paciente. Su desarrollo es muy lento y, a menudo, sus efectos llegan a ser graves solamente 15-20 años después de la aparición de los primeros síntomas.

Véase **Genética; Músculo**




En la página anterior, arriba: A) estructuras de un músculo estriado, y B) estructura microscópica del músculo. Si la lesión primaria tiene lugar en una célula nerviosa, se produce una degeneración del nervio y una atrofia de las fibras musculares. Si la lesión tiene lugar en el nervio periférico, se produce una atrofia de las fibras musculares correspondientes. Si el daño ocurre a nivel de la placa motora, se producirán alteraciones funcionales temporales y episódicas de las fibras musculares, que pueden incluso transformarse en permanentes. Las formas de enfermedad o trastorno muscular debidas a mala circulación provocan isquemia muscular. A veces, el tejido intersticial conjuntivo y adiposo va sustituyendo a las fibras que desaparecen por efecto de una atrofia. Finalmente, la lesión traumática de las conexiones tendinosas de las fibras musculares provoca la falta de uso del músculo y, de ahí, la atrofia.




La unidad motora neuromuscular está constituida por el conjunto de las fibras musculares inervadas por una sola fibra nerviosa. La contracción voluntaria o la estimulación directa (en el esquema) de la fibra nerviosa determina la aparición de una corriente eléctrica cuyas oscilaciones son visibles en el osciloscopio. Arriba, a la derecha, trazados electromiográficos de contracción voluntaria en un músculo sano.

# Disyuntor eléctrico

Cuando cae un rayo sobre una línea eléctrica y es necesario proceder a su reparación, la línea se puede desconectar desde el generador extrayendo el fusible correspondiente o bien desconectando el disyuntor eléctrico principal. Los disyuntores son dispositivos de seguridad pensados para que interrumpan el flujo de corriente eléctrica por un conductor en caso de sobrecarga u otro problema en la instalación. Además, se pueden utilizar para interrumpir la corriente eléctrica en un momento determinado, de forma que un electricista, por ejemplo, no corra riesgos de accidente mientras repara la instalación.

**Amperaje y fusibles** El amperio es la unidad de medida de la carga eléctrica, es decir, del número de electrones que pasan en un segundo por la sección de un conductor. Pero como es prácticamente imposible contar los electrones uno a uno cada vez que se quiere medir la intensidad eléctrica, se ideó una unidad de medida simple (que tomó el nombre del físico francés del siglo XVIII Coulomb, que fue quien encontró la forma de cuantificar las cargas eléctricas). Esta unidad, el *culombio*, es igual a $6{,}28 \times 10^{18}$ electrones, siendo igual un *amperio* al flujo de corriente de 1 culombio por segundo a través de una sección del conductor.

En el caso de que un circuito sufra una avería, con la consiguiente sobrecarga de corriente, o se utilice una carga muy grande (por ejemplo, si se conecta un dispositivo que consume 30 amperios con un conductor que admite 20 amperios), los hilos eléctricos se pueden fundir y originar incendios. Para evitar tales situaciones se utilizan los *fusibles*, que son conexiones "débiles" en un circuito eléctrico. Así, cuando la corriente crece peligrosamente, se fundirá el fusible intercalado en el circuito y se interrumpirá el paso de corriente, evitando de esa forma consecuencias más graves.

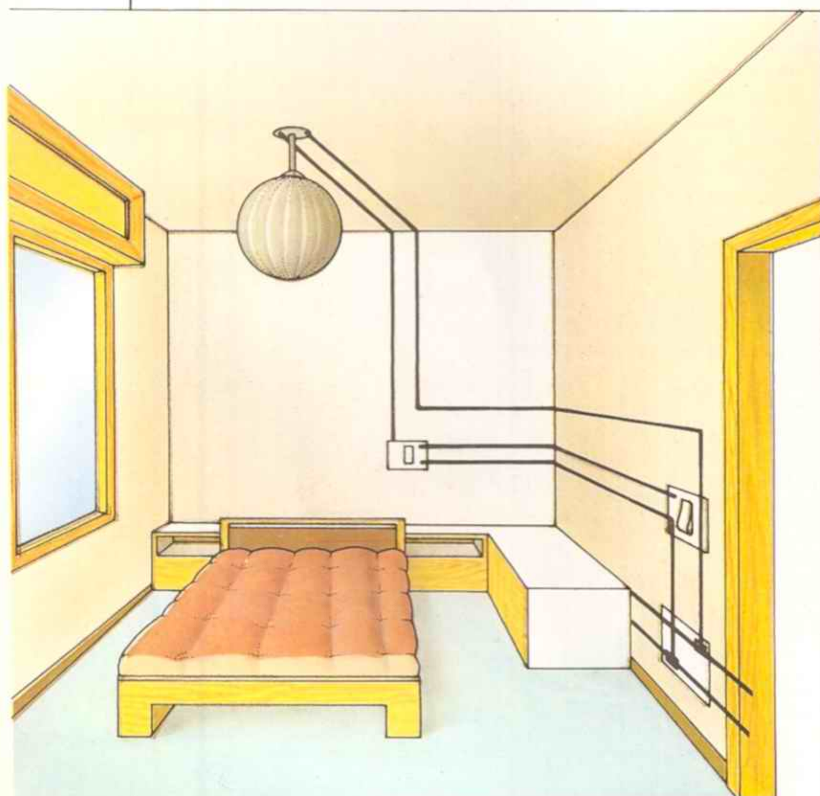
Los fusibles más comunes son de vidrio, de cartucho o de placa, funcionando todos de la misma manera. Cuando un hilo de aleación de plomo se calienta por el paso de una corriente excesiva, se funde y el circuito se interrumpe. El grosor del hilo determina el amperaje que admite el fusible. No obstante, se construyen distintos tipos de fusibles adaptados a los diferentes circuitos, aunque normalmente los fusibles de bajo amperaje son de vidrio y de cartucho y los de cien amperios o más son de placa.

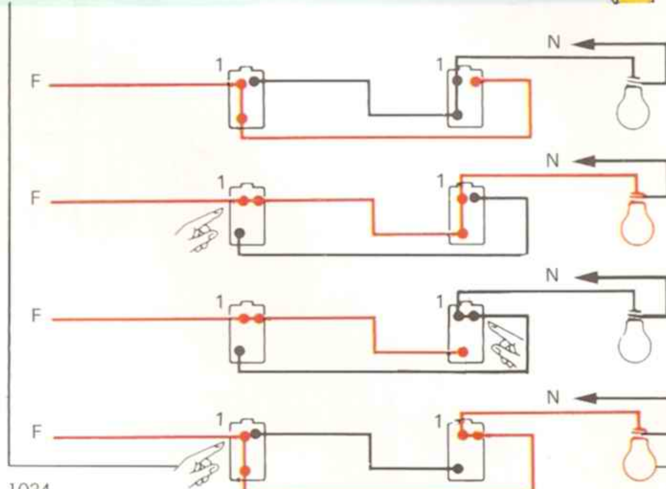
**Disyuntores** El dispositivo llamado *disyuntor* se utiliza en instalaciones permanentes de cableado y en aparatos eléctricos. Un disyuntor es un tipo de interruptor que se abre automáticamente para interrumpir el circuito y cortar el paso de corriente cuando ésta rebasa los límites previstos. El funcionamiento de estos dispositivos se basa en principios térmicos y magnéticos.

En un disyuntor térmico la corriente pasa a través de dos placas metálicas adosadas con distinto índice de dilatación térmica. Cuando se produce una sobrecarga, las dos placas se calientan, se dilatan y al estar unidas se curvan, haciendo que salte un brazo elástico que separará las dos placas metálicas, interrumpiendo así la corriente.

Los disyuntores que utilizan una bobina (electroimán) empujan hacia abajo un tope, que hace saltar el brazo elástico. Si se intenta conectar de nuevo el disyuntor en las mismas condiciones del circuito, volverá a saltar y seguirá haciéndolo hasta que se solucione el problema.

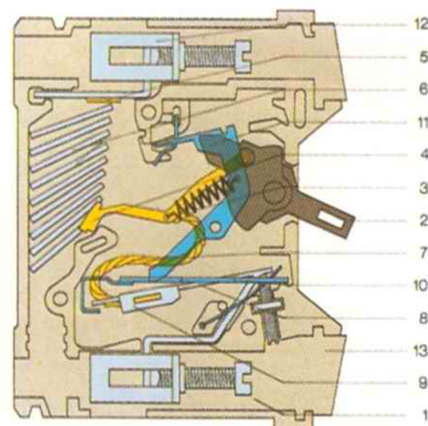
A menudo los interruptores de instalaciones temporales que cortan la corriente del circuito completo tienen forma de palanca: al bajarla, los contactos dejan de






A la izquierda, plano de una habitación en el que se ha señalado el recorrido de los cables desde el interruptor cercano a la puerta hasta el de la cabecera de la cama. Ambos interruptores pueden utilizarse para encender o apagar la luz del centro de la habitación, independientemente de la posición del otro. Debajo, esquema en el que se ven distintas posiciones en que pueden estar esos interruptores. Abajo y a la derecha, sección de un disyuntor para potencias pequeñas y medias; en el esquema de esta página se detallan las partes que lo forman: (1) carcasa de resina; (2) palanca de maniobra de acción manual; (3) muelle de disparo que provoca el movimiento del contacto móvil a alta velocidad; (4) contacto móvil, representado en la posición de abierto; (5) contacto fijo; (6) plaquitas situadas en abanico, que tienen la misión de apagar las chispas que se pudieran formar en las aperturas de circuito con sobrecarga; (7) trenza de cobre muy flexible que conecta el contacto móvil al automático de bimetal; en caso de fuerte sobrecarga o de cortocircuito, la corriente que pasa por la barra (8), formada ésta por dos metales, mueve el dispositivo de desconexión (9) de la leva de desenganche (10), de forma que la leva en hoz (11) abra el contacto; (12) mordazas y cubremordazas (13).

En la página siguiente: (A) conexión manual; (B) desconexión por acción electromagnética; (C) desconexión por acción térmica; (D) unión de los contactos.

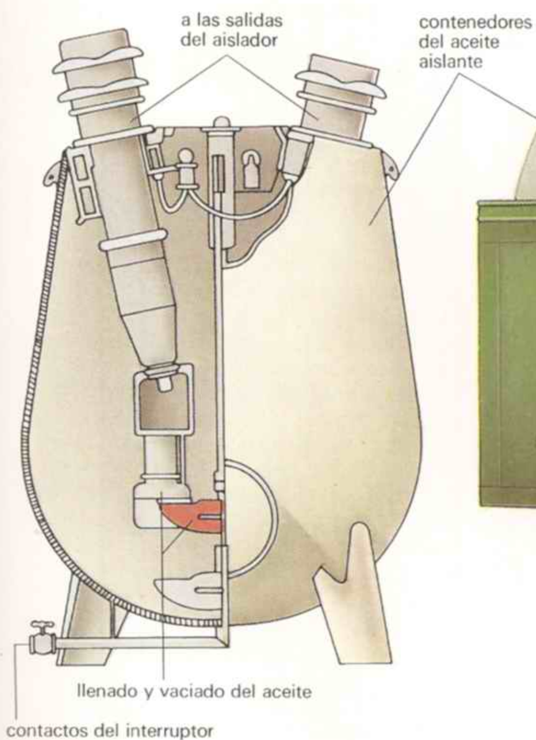


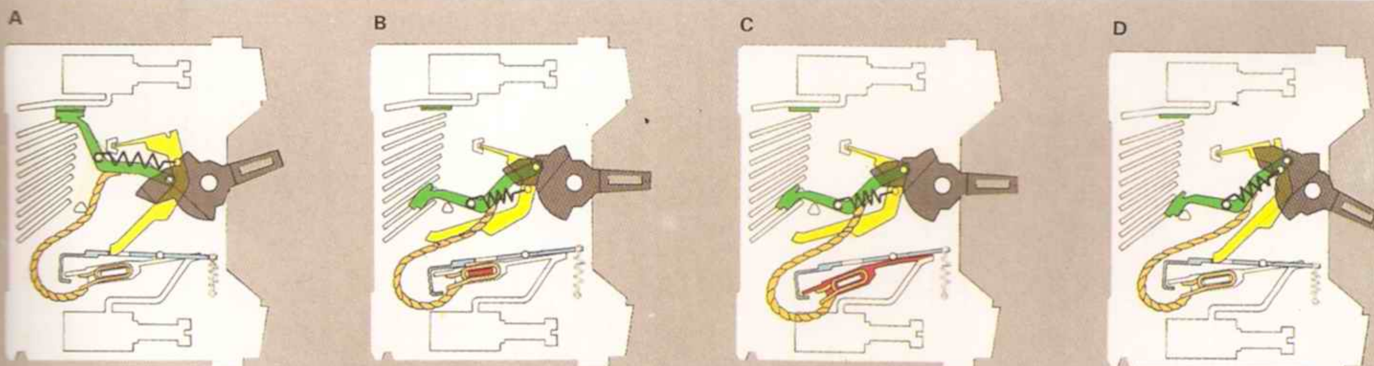
Grandes interruptores para tensiones altas y corrientes intensas que se utilizan para conectar y desconectar las líneas de alimentación de alta tensión de las redes eléctricas. En el dibujo de abajo se ve el contacto que se mueve velozmente por medio de un dispositivo de gas comprimido. La desconexión se produce dentro de una masa de aceite aislante, contenida en un gran recipiente esférico o cilíndrico muy sólido y con un diámetro de unos cinco metros.

aislantes
para altas tensiones

producirse y la corriente se interrumpe. Pero en general, los grandes interruptores de este tipo disponen también de fusibles, que se queman en caso de sobrecarga. Estos dispositivos de protección, indispensables en cualquier instalación eléctrica, hacen que ésta sea segura.

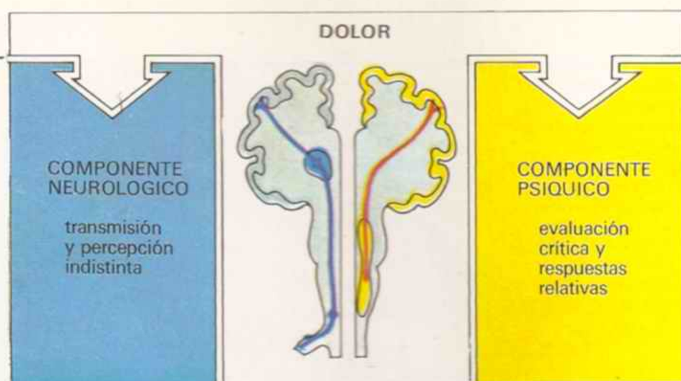
Véase **Instalaciones eléctricas**



# Dolor

El recuerdo del dolor físico no es verdaderamente agradable para nadie, ni siquiera en aquellos casos en los que se le puede atribuir un cierto valor positivo. Su evocación, en efecto, nos conduce a evitar ciertas acciones —¿quién, por ejemplo, toca espontáneamente dos veces una estufa incandescente?—, y puede además constituir una advertencia de la presencia de una enfermedad. En algunos casos, la localización exacta de un dolor puede representar un método diagnóstico de importancia vital.




Componentes del dolor: el componente neurológico transporta los impulsos dolorosos desde los órganos periféricos al sistema nervioso central. El componente psíquico se integra a nivel de la corteza cerebral, capaz de reconocer la localización, intensidad y cualidades del dolor.

**El dolor es subjetivo** El dolor físico constituye una experiencia personal y subjetiva, y son muchos los factores que influyen en la intensidad con la que distintas personas lo perciben. Lo que para unos resulta un dolor insoportable es para otros simplemente molesto. Las circunstancias tienen también su importancia: se ha sabido, de hecho, que algunos soldados han llegado al final de un combate sin apenas darse cuenta de que estaban gravemente heridos, y que algunas personas cesan de sentir dolor en el momento en que advierten que alguien cerca de ellos experimenta, quizás, un dolor mayor al suyo propio. Pero también puede suceder lo contrario. Algunos estudiantes de Medicina y alumnos de enfermería perciben muchos de los síntomas descritos en sus libros de texto.

Los científicos no han sido capaces hasta la fecha de comprender muchos aspectos del dolor. En el cerebro, órgano todavía desconocido en muchos de sus aspectos, una sensación o una sugestión pueden ser percibidas como dolor. Un impulso, para alcanzar el cerebro, debe viajar a lo largo de los nervios hasta llegar al sistema nervioso central.

**Análisis del dolor** Si una célula es dañada, reacciona produciendo *prostaglandinas*, sustancias químicas que tienen la función de transmitir la información del daño sufrido a la terminación nerviosa. El mensaje es transportado a las otras zonas del sistema nervioso a través de los *cilindroejes*, prolongaciones de las células nerviosas frecuentemente de longitud bastante dilatada. Los cilindroejes contienen el *axoplasma*, que posee una vital importancia para la transmisión de las informaciones.

En reposo, el cilindroeje contiene una carga negativa en el interior, es decir, en el axoplasma, y una carga positiva sobre la superficie de la membrana. Esta diferencia de carga eléctrica a través de la membrana del cilindroeje se denomina *potencial de reposo* y es mantenida mediante una mayor concentración de iones de potasio y una menor concentración de iones de sodio y cloruro en el axoplasma con respecto al exterior del cilindroeje. La llegada de un mensaje activa un mecanismo conocido con el nombre de *bomba de sodio*, que cambia el equilibrio químico-eléctrico del cilindroeje. Los iones de sodio y cloruro penetran en el axoplasma a través de la membrana, mientras que los iones de potasio se precipitan hacia el exterior.

Desde el punto de vista eléctrico, el resultado de este proceso, al que se da el nombre de *despolarización*, consiste en el hecho de que ahora el axoplasma posee una carga positiva y está dispuesto para la acción. En este momento se ponen en movimiento una serie de cambios similares a lo largo de todo el cilindroeje. Dado que algunas partes del cilindroeje están recubiertas por una vaina de mielina, sustancia no excitable desde el punto de vista eléctrico, la onda que recorre el cilindroeje no es continua.

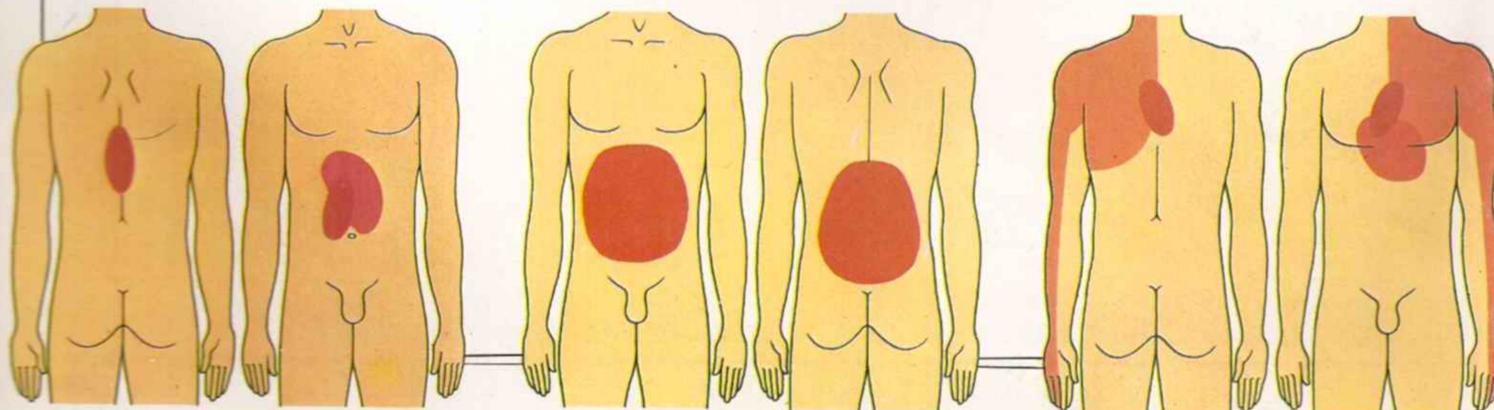
La despolarización se transmite a saltos, es decir, desde una zona carente de mielina a otra similar. Las zonas carentes de mielina se conocen como *nódulos de Ranvier*. Después de que la onda de despolarización ha viajado a lo largo del nervio, la bomba de sodio se inactiva y el cilindroeje vuelve a su potencial de reposo. Este proceso se denomina *repolarización*. Cuando la onda de despolarización llega al final de un nervio, la zona terminal del mismo libera unas sustancias químicas que estimulan el cerebro, o bien otro nervio o un músculo. Estas sustancias químicas reciben el nombre de *sustancias neurotransmisoras*, y entre ellas se encuentran la acetilcolina, la noradrenalina, la dopamina y la serotonina.

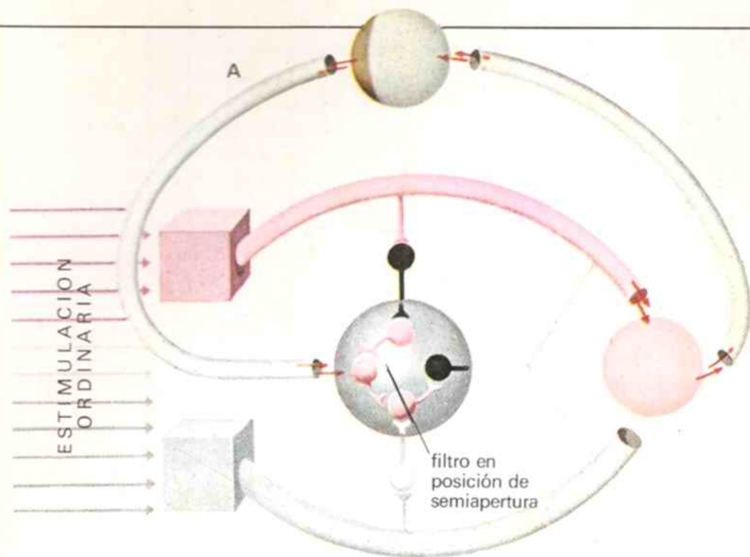
De esta manera el impulso alcanza la médula espinal, desde donde posteriormente viajará al cerebro. En el caso de los impulsos sensoriales que transmiten sensaciones de dolor, calor, frío, tacto y presión, la zona del cerebro encargada de recoger los estímulos es la denominada *tálamo*. Esta zona es un centro sensorial que recibe y elabora mensajes de las zonas periféricas de nuestro cuerpo. En la piel y en otros órganos existen distintos receptores para varios tipos de estímulos sensoriales.

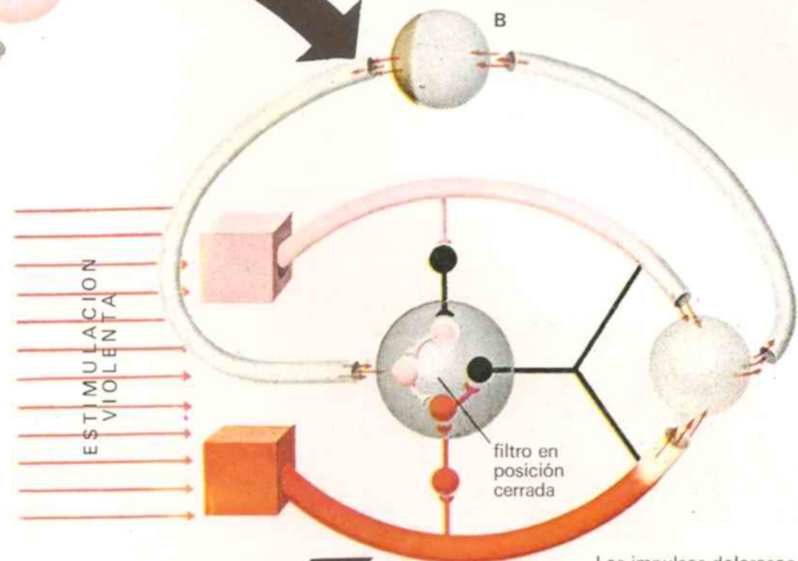
El intenso dolor provocado por una quemadura estimulará receptores distintos de los que se activan por el pinchazo de un alfiler. Las informaciones procedentes de los distintos receptores se conducen siguiendo diferentes recorridos en la médula espinal y estimulan diversas zonas en el tálamo. En los animales menos evolucionados, con sistema nervioso poco desarrollado, el tálamo constituye el centro sensorial principal, mientras que en el hombre las informaciones alcanzan centros más desarrollados del cerebro.

Los impulsos se transmiten desde el tálamo a la corteza cerebral, la cual registra

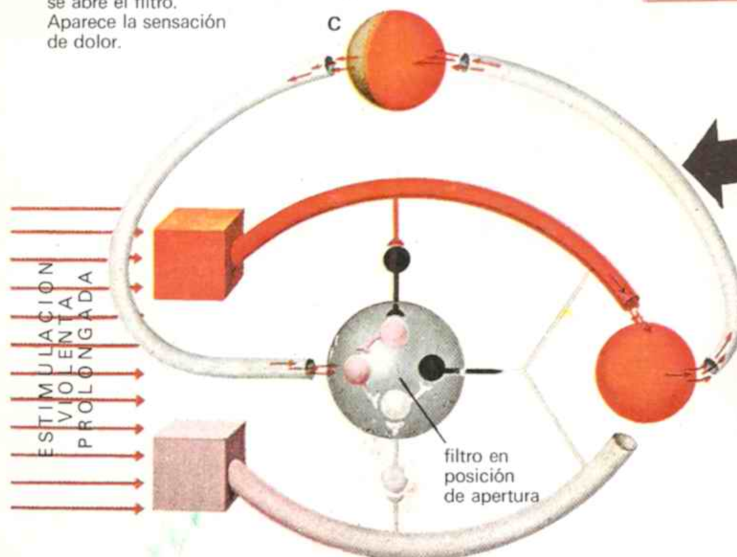
El dolor puede estar localizado en distintas partes del organismo y ser más o menos intenso. Aquí, bajo estas líneas, las zonas remarcadas en color indican algunas de las partes corporales más típicamente afectadas por el dolor en el caso de algunas enfermedades: úlcera gastroduodenal, colitis e infarto de miocardio.






Modalidades de transmisión de los impulsos: en A, con una moderada excitación de las fibras delgadas, el filtro está parcialmente abierto a impulsos provocados por sensaciones de varios tipos; en B, una estimulación violenta (dolor) excita las fibras más gruesas y cierra el filtro; en C, se excitan las fibras delgadas y se abre el filtro. Aparece la sensación de dolor.




una brusca estimulación de la parte corporal afectada, poniendo en acción las fibras gruesas con momentánea clausura del filtro, puede abolir durante un instante la sensación dolorosa

Los impulsos dolorosos son de dos tipos: las fibras de mayor calibre están conectadas a receptores muy sensibles, cuya acción es breve; el segundo tipo lo constituyen fibras más delgadas y conectadas a receptores que entran en funcionamiento más tarde, pero que permanecen excitados durante más tiempo. Ambos tipos de fibras están conectadas con las estructuras nerviosas de los centros superiores o bien con un grupo de pequeñas neuronas, con función de filtro, situadas en las astas posteriores de la médula espinal.

la posición de la lesión, evalúa la intensidad del dolor y confronta el estímulo presente con las experiencias pasadas. La *corteza cerebral* es la parte más desarrollada del cerebro y es la sede de la elaboración de las percepciones dolorosas. Esta zona es también responsable de los aspectos psicosociales y emocionales del dolor físico, y explica por qué distintas personas en situaciones diferentes reaccionan de modos tan diversos al mismo grado de estímulo doloroso.

Algunas veces una lesión o un daño ocasionado a una parte del cuerpo origina dolor en otra zona corporal. Se trata del *dolor heterotópico*, un fenómeno que frecuentemente ayuda al diagnóstico de lesiones internas. Por ejemplo, una persona que percibe un dolor en el hombro derecho, a pesar de no haber sufrido ninguna lesión en esa zona, puede tener una inflamación de la vesícula biliar. La razón de todo esto reside en el hecho de que los nervios sensoriales procedentes del hombro y de la vesícula biliar siguen el mismo recorrido para alcanzar la médula espinal. Si el nervio de la vesícula biliar es intensamente estimulado, algunos de los impulsos provocados por el dolor se difunden a través de los nervios correspondientes al hombro derecho y el cerebro percibe el dolor como si estuviera originado en ambos puntos. Otro ejemplo de dolor heterotópico es el que perciben en el tórax y en el brazo las personas que sufren ataques cardiacos.

**Tratamiento del dolor** Muchos tipos de dolores físicos se pueden curar con los analgésicos, el más común de los cuales es la aspirina. Algunos analgésicos son eficaces debido a que inhiben la producción de las prostaglandinas. Otros medicamentos, por el contrario, actúan bloqueando la transmisión de los impulsos dirigidos desde la médula espinal al cerebro. Otros fármacos actúan directamente sobre el cerebro. Las características psicológicas del individuo influyen en la percepción del dolor: se ha descubierto que, en algunos casos, los placebos y los métodos hipnóticos dan buenos resultados en la curación del dolor físico. Por otra parte, el tipo e intensidad del dolor además de la constitución física del paciente, determinan qué tratamiento es mejor.

Véase **Analgésicos**

# Draga

La draga es una máquina excavadora flotante usada para extraer materiales de debajo del agua. Los deltas de los ríos, los puertos naturales y los canales tienen tendencia, con el paso del tiempo, a volverse innavegables cuando el limo y otros sedimentos acumulados se depositan sobre el fondo; las dragas permiten extraer ese material y aumentar el calado de los puertos, canales y demás vías navegables. Se utilizan también para extraer tierras, gravas y arenas destinadas a la construcción o al relleno de zonas pantanosas. Finalmente, constituye un importante instrumento en la extracción de oro, diamantes y otros minerales. Existen varios tipos de draga, clasificados según el útil usado para la excavación: *draga de rosario*, *draga de cuchara* y *de mandíbula*, *draga de pala* y *draga de succión*.

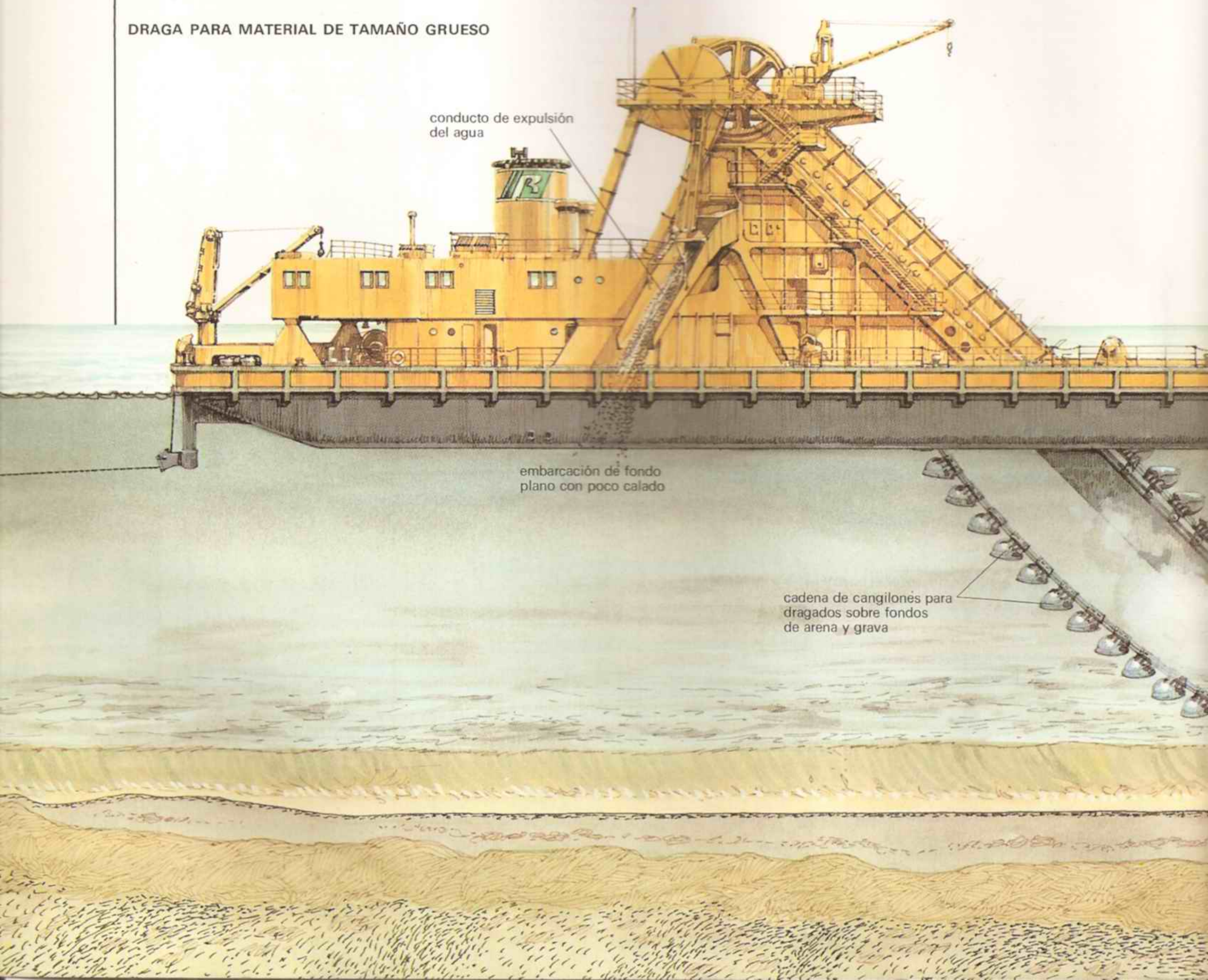
**Draga de rosario** Es una máquina similar a una escalera mecánica. Normalmente el mecanismo está montado de acuerdo a la abertura rectangular situada en el centro de una embarcación automotriz. En lugar de los peldaños de la escalera mecánica, este tipo de draga posee una cadena continua de cangilones y su extremo inferior puede ser sumergido en el agua donde se encuentra el material a extraer. El material recogido del fondo se descarga normalmente sobre un plano inclinado, que lo deja caer en un gánguil (barco situado junto a la draga). Estos gánguiles están proyectados de modo que el "empuje" de flotación de la embarcación sea suficiente para mantenerlos a flote aunque estén completamente cargados. El material procedente de la excavación se sitúa en compartimentos cerrados por su parte inferior con compuertas accionadas por cabrestantes para facilitar la descarga. Los gánguiles son remolcados hasta la zona de descarga y una vez allí las compuertas se abren. La draga de rosario carece de medios de propulsión, por lo que se desplaza con el auxilio de remolcadores. Se mantienen en posición mediante varias anclas, por lo que su capacidad de movimiento es muy reducida, limitada por la longitud de las cadenas.

**Draga de cuchara y de mandíbula** La cuchara *(almeja)* es un recipiente metálico acoplado a un puntal basculante, en tanto que la mandíbula *(caramarro)* es el clásico aparato suspendido de un cable y compuesto por dos valvas que se cierran y se abren a voluntad. Ambos tipos son más manejables que las de rosario. Algunas de ellas son autopropulsadas y llevan su propio compartimento para los lodos.

**Draga de pala** Es similar a una pala excavadora terrestre, pero montada sobre un casco flotante. Una excavadora de pala es una máquina pesada para remover tierra y provista de una gran cuchara situada en el extremo de un largo brazo accionado por un potente motor. Esta draga es utilizada para mover grandes cantidades de tierra (por ejemplo, para la construcción de canales; así, en la construcción del Canal de Panamá se utilizó este tipo de draga).

**Draga de succión** Existen diversos tipos de dragas de succión, aunque todos

DRAGA PARA MATERIAL DE TAMAÑO GRUESO



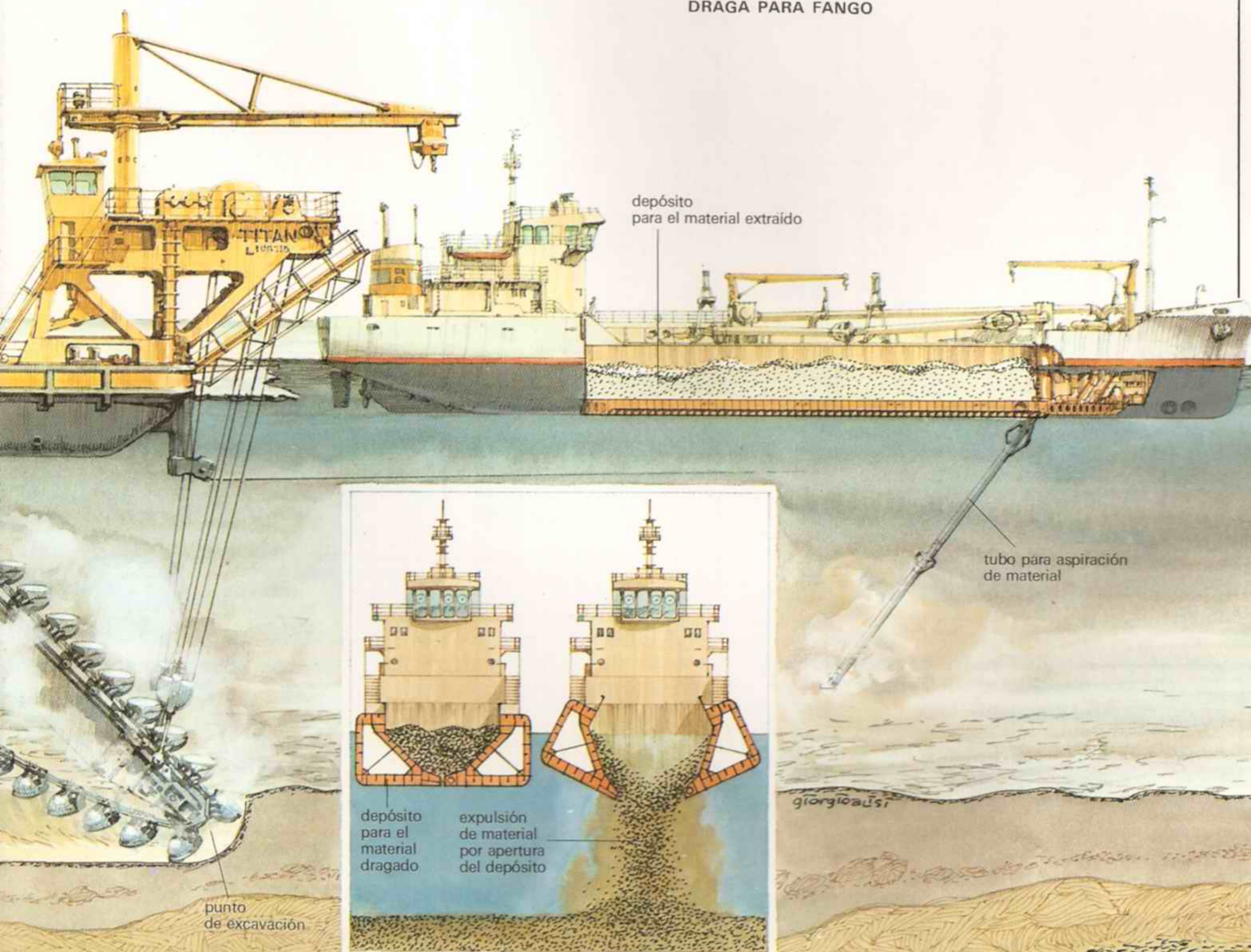
aprovechan la aspiración de una bomba centrífuga para extraer el fango y la arena. Esta bomba está conectada a un tubo por donde aspira los sedimentos del fondo, que ascienden mezclados con agua. El material extraído es vertido a través de otro conducto a un gánguil o directamente a tierra. Este sistema da buenos resultados cuando los materiales a dragar son sueltos y de forma granular, como la arena y la grava; sin embargo, si se trata de materiales más consistentes, es necesario deshacerlos o romperlos previamente, para lo cual se utiliza un dispositivo disgregador, a base de elementos cortantes o rascadores, que se sitúa en el extremo inferior del tubo.

Generalmente este tipo de dragas va montado en un barco de casco normal, en cuyo interior se encuentran los depósitos para el vertido de los materiales.

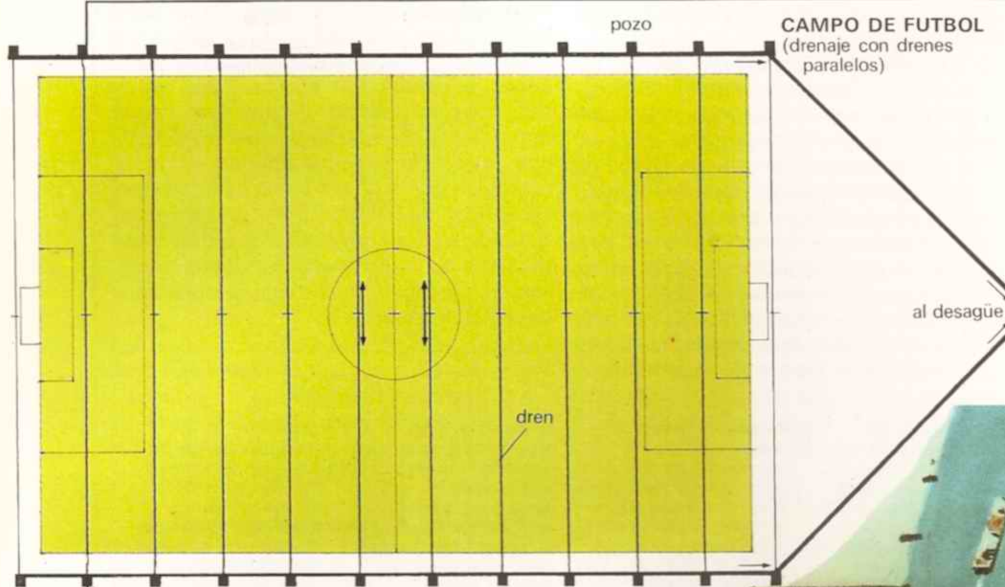
Las grandes operaciones de dragado se han hecho indispensables ante el tamaño alcanzado por los superpetroleros, que exigen una mayor profundidad en los puertos. Por otro lado, la ingeniería oceanográfica ha planteado el problema de construir dragas capaces de extraer material no sólo del fondo de puertos con peligro de aterramientos o de la desembocadura de ríos, sino también de los abismos oceánicos. El motivo de dragar estos fondos remotos es la extracción de materiales preciosos. Por ejemplo, con estos dragados se podrían obtener cantidades importantes de manganeso y níquel. Aunque este tipo de operaciones exige el apoyo de una gran nave con instalaciones complejas, en comparación con las de una draga normal, su realización pondría a disposición de la Humanidad nuevas riquezas, ya casi agotadas sobre la superficie de los continentes.

Véase **Canal**

Las operaciones de dragado son fundamentales para mantener libres las vías de acceso a puertos y canales. Antes de comenzar las tareas de dragado se realizan diversos sondeos que permiten determinar el área a dragar, así como el tipo de draga que conviene utilizar. Las dragas aquí ilustradas son del tipo que se destina a realizar las excavaciones necesarias para el paso de grandes barcos. Por consiguiente son dragas que en general no excavan mucho más del calado de dichos barcos. En la parte izquierda de la figura se ve un tipo de draga adecuado para la excavación de fondos de gravas, de los que el material se extrae más fácilmente por medio de un sistema de cucharas. A la derecha, el tipo de draga que trabaja mejor en fondos cenagosos y que funciona por medio de una bomba que aspira el fango fluido. Una vez subido a bordo desde el fondo, el material debe ser separado del agua, que es devuelta al mar, mientras que la parte sólida se recoge en depósitos. Esta operación resulta más sencilla de llevar a cabo con la grava que con el fango. Tanto en el caso de la draga de rosario como en el de la de succión, la profundidad de dragado está regulada por medio de la inclinación dada al carril de la cadena de cangilones o del tubo de aspiración. La operación termina con la descarga en el mar del material, en una zona en la que las corrientes no puedan volver a llevarlo al lugar dragado.

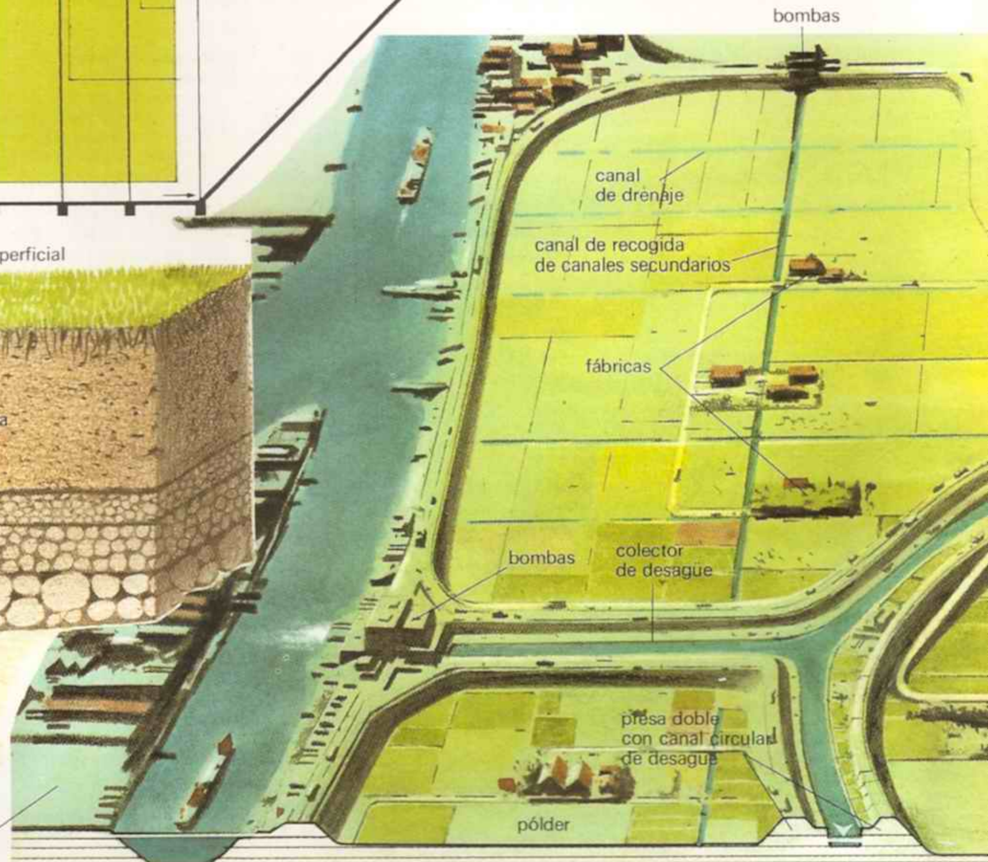


# Drenaje










Una de las empresas humanas más notables a nivel técnico fue la ampliación del territorio que ocupan Holanda y Alemania a expensas del Mar del Norte. Tal empresa fue realizada mediante drenaje, desplazando el agua de la zona costera, que fue transformada de tal manera que se convirtiese en adecuada para las exigencias del hombre.

**Drenaje de tierra** Un adecuado trabajo de drenaje es de una importancia fundamental para mantener en buen estado los terrenos agrícolas.

El drenaje natural es a menudo alterado por la utilización de la tierra por el hombre, que se ve obligado a realizar trabajos destinados a eliminar y controlar los sobrantes de aguas superficiales o subterráneas. El nivel alcanzado por el agua subterránea forma el *nivel freático*, por debajo del cual el terreno está saturado de agua. Si el nivel freático está demasiado alto, las plantas pueden ser dañadas. En general, si las raíces de una planta están circundadas por un terreno saturado de agua, no pueden realizar de forma completa el intercambio de gases y la absorción de sustancias nutritivas indispensables para su vida.

El objetivo del drenaje agrícola es mantener el nivel freático de manera segura por debajo de las raíces de las plantas sembradas, evitando los encharcamientos. Se emplean principalmente dos técnicas: los canales de drenaje abierto y las conducciones subterráneas. En los primeros la gravedad proporciona la fuerza que elimina el exceso de agua, que escurrirá hacia los canales (cuyo tamaño puede variar desde pequeñas acequias a profundas zanjas). Estos canales suelen conducir el agua drenada hacia ríos, embalses o lagos.

Otro método es el de colocar tubos subterráneos (*drenes*), a una profundidad determinada por factores como la altura del nivel freático, la permeabilidad del terreno y la pluviometría del lugar. Una vez colocados los drenes (generalmente de hormigón), se recubren de grava y sobre ésta se restituye el suelo vegetal. El agua fluye hacia el interior de los tubos por las juntas, que suelen protegerse con gravilla muy fina a fin de impedir que penetren residuos que llegarían a obstruir la conducción. Este conjunto de tuberías desagüa en algún río o embalse.

**Drenaje de carreteras** En 1820, uno de los pioneros de la técnica moderna de construcción de carreteras, John McAdam, sostenía que, cualquiera que fuese el espesor de un firme, si el agua pasara a través de él impregnando el terreno que está por debajo, el firme se desharía en mil pedazos.

El drenaje es una operación de eliminación de las aguas en terrenos pantanosos, y de excavación de conducciones subterráneas o alcantarillas básicas para hacerlas circular hacia canales de desagüe. En el primer caso se pretende hacer circular el agua hacia un canal de drenaje (esquema superior a la izquierda) disponiendo un tubo de desagüe perforado debajo de un estrato de cantos rodados gruesos. En el ángulo superior izquierdo se ve cómo la red de estos tubos se distribuye en canales inferiores externos que conducen a un pozo, donde una bomba eleva las aguas hacia un punto de desagüe lejano. Sobre estas líneas, un ejemplo de canalización principal y secundaria. A veces pequeñas variaciones de altimetría local permiten hacer discurrir las aguas sin ayuda de bombas. Finalmente, a la derecha, drenaje en obras civiles.

En nuestros días se ha descubierto que el agua se queda atrapada entre las capas de hormigón de las carreteras. Bajo las presiones ejercidas por los vehículos pesados, la presencia del agua erosiona los materiales, además de que, cuando el agua se hiela y aumenta de volumen, crea una presión que conlleva la formación de grietas y agujeros. Por tanto es fundamental para su buena conservación que las carreteras posean un drenaje adecuado.

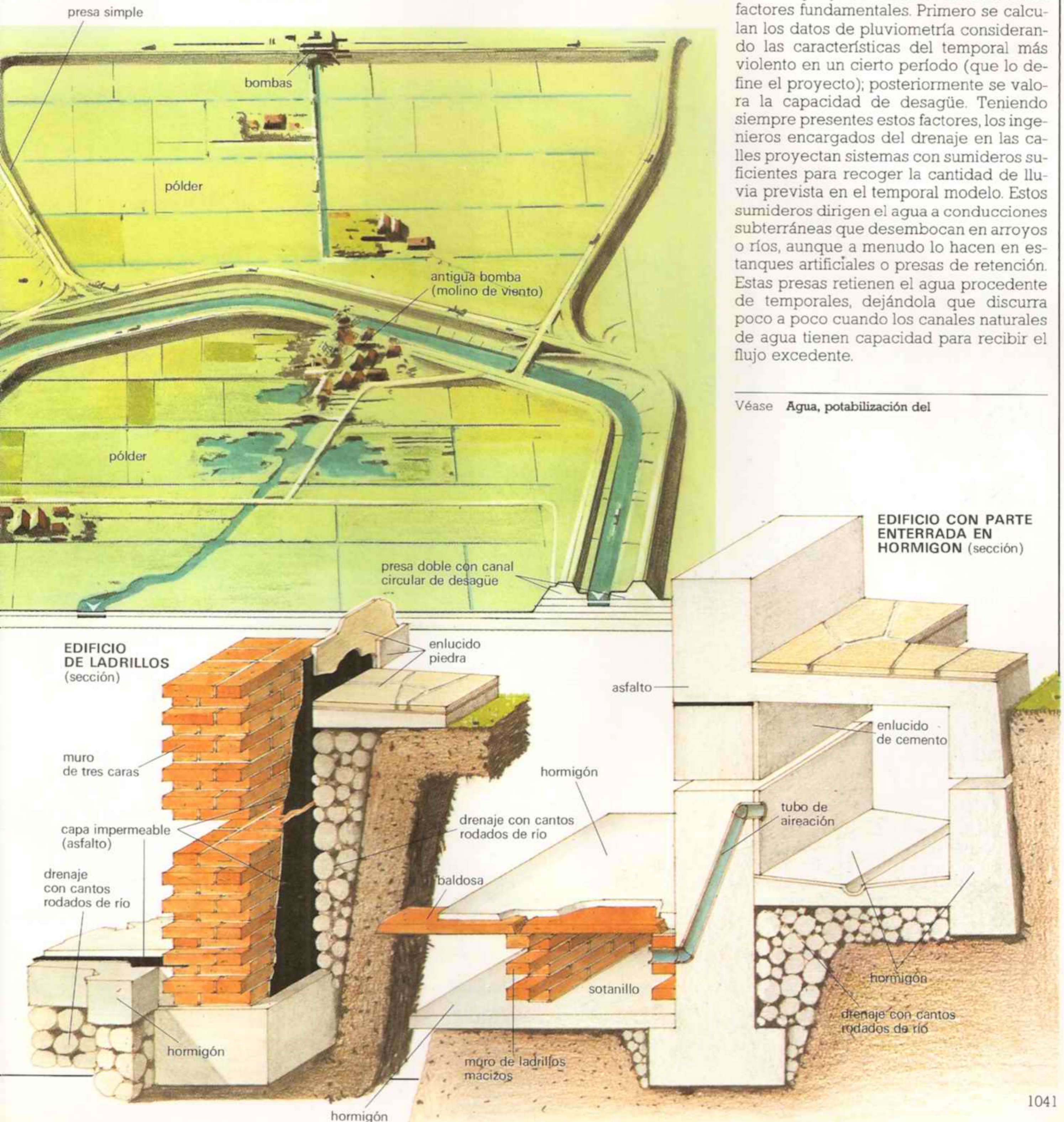
Un buen drenaje consiste en colocar el pavimento de una carretera, normalmente constituido por hormigón y asfalto, sobre un lecho de material de grano grueso y situar tubos a los lados del lecho de grava. El agua que penetra atravesando el pavimento, o que asciende hacia la superficie a través de la tierra, discurre libremente entre la grava y penetra en los tubos, ya sea por las juntas entre un segmento y otro, ya sea a través de los orificios a propósito. A lo largo de estos tubos, a determinadas distancias, hay otros tubos de recogida final que conducen el agua fuera de la carretera por medio de desagües laterales.

**Drenaje de casas y calles** Los edificios poseen sofisticados sistemas de drenaje para las aguas residuales. Las cañerías que recogen el agua para el desagüe de un edificio están unidas a un sistema de alcantarillado subterráneo que la conducen a los centros específicos para el tratamiento de aguas residuales.

Generalmente el sistema de drenaje de las aguas de lluvia se mantiene separado del de las aguas de vertidos de casas e industrias.

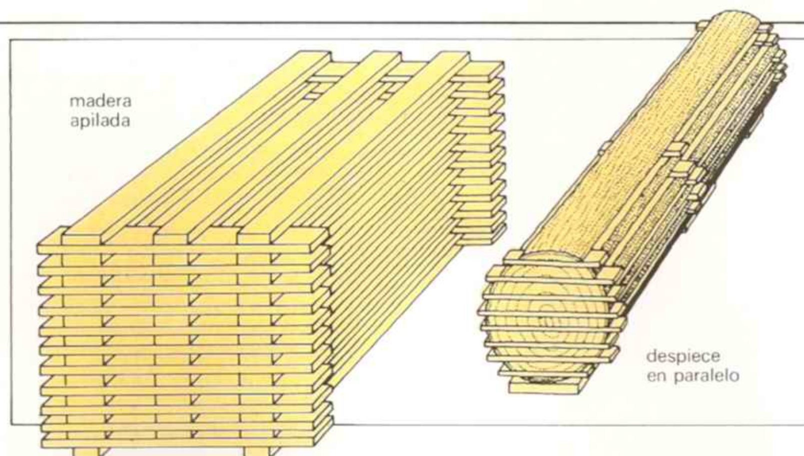
El sistema de drenaje de las aguas de lluvia se proyecta teniendo en cuenta dos factores fundamentales. Primero se calculan los datos de pluviometría considerando las características del temporal más violento en un cierto período (que lo define el proyecto); posteriormente se valora la capacidad de desagüe. Teniendo siempre presentes estos factores, los ingenieros encargados del drenaje en las calles proyectan sistemas con sumideros suficientes para recoger la cantidad de lluvia prevista en el temporal modelo. Estos sumideros dirigen el agua a conducciones subterráneas que desembocan en arroyos o ríos, aunque a menudo lo hacen en estanques artificiales o presas de retención. Estas presas retienen el agua procedente de temporales, dejándola que discurra poco a poco cuando los canales naturales de agua tienen capacidad para recibir el flujo excedente.

Véase **Agua, potabilización del**



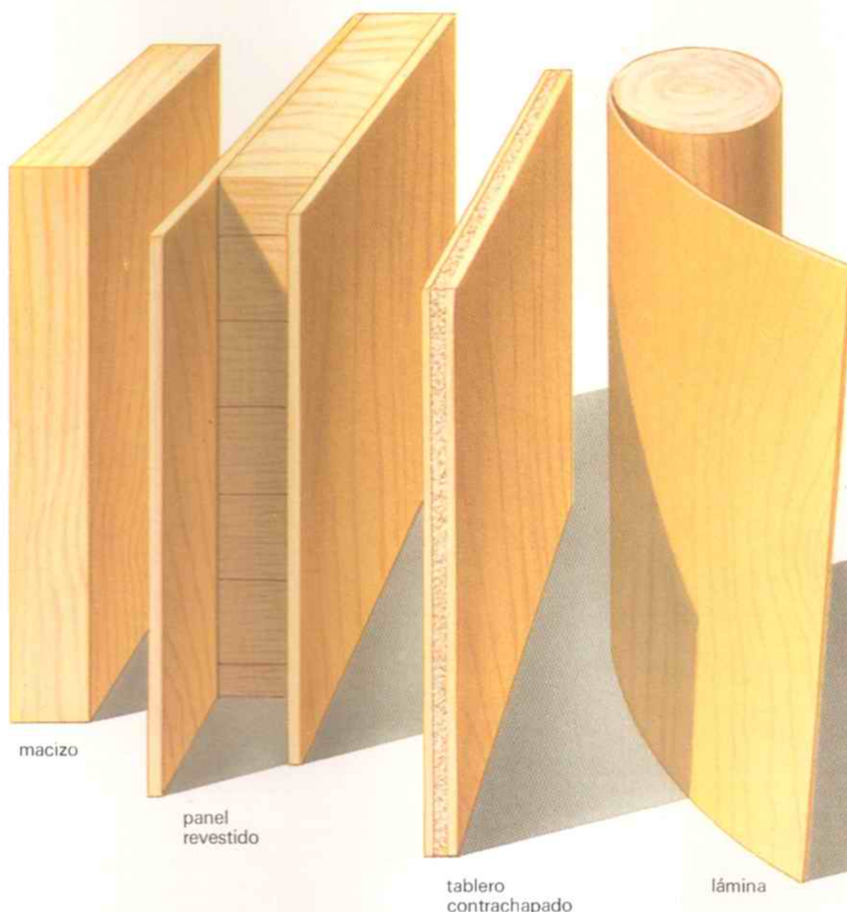
# Ebanistería

La ebanistería, junto con el trabajo del bronce y del cuero y la cerámica, representa una de las principales —y más importantes desde el punto de vista histórico— tecnologías industriales. Además, la ebanistería es uno de los pocos sectores tecnológicos en los que los métodos modernos no constituyen necesariamente un paso adelante respecto a los usados en la Antigüedad. Los antiguos egipcios utilizaron chapeados de madera para construir los féretros que han llegado hasta nuestros días, y desde el Medioevo fueron utilizadas las uniones a espiga y mortaja.




**Materiales** El elevado coste de las maderas de calidad ha obligado a la utilización cada vez mayor de los chapeados en ebanistería.

El chapeado está formado por una fina capa de madera de calidad encolada a una madera de calidad inferior o a otro material. Los chapeados muestran todas las vetas naturales de la madera, lo que confiere mayor belleza. Además de en ebanistería, los chapeados se utilizan para la madera compensada (formada por finos chapeados encolados entre sí) o para cajas (se trata de madera reducida a pequeñas astillas, secas y comprimidas con un pegamento resinoso para que las tablillas se puedan luego encolar, clavar y atornillar como la madera normal).




**Fabricación** En los inicios de la producción de muebles en Gran Bretaña y en Europa, los ebanistas vivían agrupados en zonas situadas en torno a los molinos de viento o de agua, donde la madera era aserrada y transformada mecánicamente. Hoy en día estos procesos se realizan en fábricas automatizadas y con una producción elevada. El proceso de fabricación de un armario (o de cualquier otro mueble) de madera comienza siempre con el corte de un árbol, cuya madera es luego reducida a dimensiones utilizables y puesta a secar en un horno o por medio de calefacción a radiofrecuencia, procedimiento que activa la acción molecular en la resina de la madera del mismo modo como sucede con el calor tradicional, acelerando el tiempo de secado y de encolado. Para hacer los chapeados, se corta una fina capa de madera de calidad que se pega con cola orgánica de resina a la madera de calidad inferior o al cartón prensado y pulido. A continuación los chapeados son ordenados, pasados bajo una prensa y tratados con calor.

Finalmente la madera es cortada de acuerdo con las exigencias del modelo, efectuándose las juntas necesarias para unir dos piezas de madera lo más sólidamente posible y de forma que la unión tenga una buena apariencia. El ensamble a *cola de milano* es sencillo y resistente. El problema de estos ensambles está en que deben ajustar perfectamente, pues las piezas deben poder unirse sin forzarlas y a la vez no deben tener holgura. Generalmente la unión se encola para lograr mayor solidez. Las uniones a *espiga y mortaja* son utilizadas para unir un elemento horizontal a otro vertical. La pieza horizontal es la que lleva siempre la espiga (saliente rectangular), mientras que la pieza vertical está provista de la caja o mortaja en la que debe encajar la espiga. Todos los ensambles de caja y espiga se encolan.

**Otros aspectos de la ebanistería** Un ebanista debe ser hábil en muchos campos, debe, por ejemplo, conocer todos los tipos de madera existentes y saber el modo de usarlos correctamente. Además debe ser capaz de utilizar las diversas herramientas que existen para trabajar la madera, conocer técnicas como las del tallado, dorado, marqueteado. Por último, el ebanista debe saber pulir la madera y tratarla de distintas maneras para obtener los diversos acabados, como el color, el endurecimiento o el resalte del veteado natural de la madera. Una vez terminado el mueble, tiene además que colocar los accesorios: fijar las puertas con goznes, colocar los tiradores, etcétera.

Véase **Carpintería; Madera**

VARIOS TIPOS DE ENSAMBLE

ensamble a espiga y mortaja

ensamble a cola de milano

fragmentación en pequeños elementos de las piezas macizas para afrontar dilataciones y fisuras

Arriba, algunos tipos de ensamble empleados en ebanistería. Si bien ahora son realizados de manera muy veloz por medio de máquinas especiales, en la ebanistería tradicional se cortaban a mano. En el centro, la construcción de la parte inferior de un mueble tradicional. La complicación de esta construcción se debe al empleo de madera maciza, lo que impone su fragmentación en muchos pequeños elementos para que los cortes no produzcan fisuras en la madera. Estos inconvenientes se eliminarían si se eligieran materiales semielaborados como láminas o los paneles revestidos.
Abajo, trabajo de encolado de un chapeado.




En la página anterior, la materia prima (madera). Para el uso de una pieza maciza es necesario proceder al corte de los troncos y a un lento proceso de secado. El uso de las piezas macizas exige maderas nobles provenientes de troncos gruesos, de forma que el producto final tenga unas características mecánicas y estéticas similares al material de origen.

# Eclipse

Durante mucho tiempo los seres humanos se han sentido fascinados, y a menudo igualmente atemorizados, por el fenómeno conocido como *eclipse solar*.

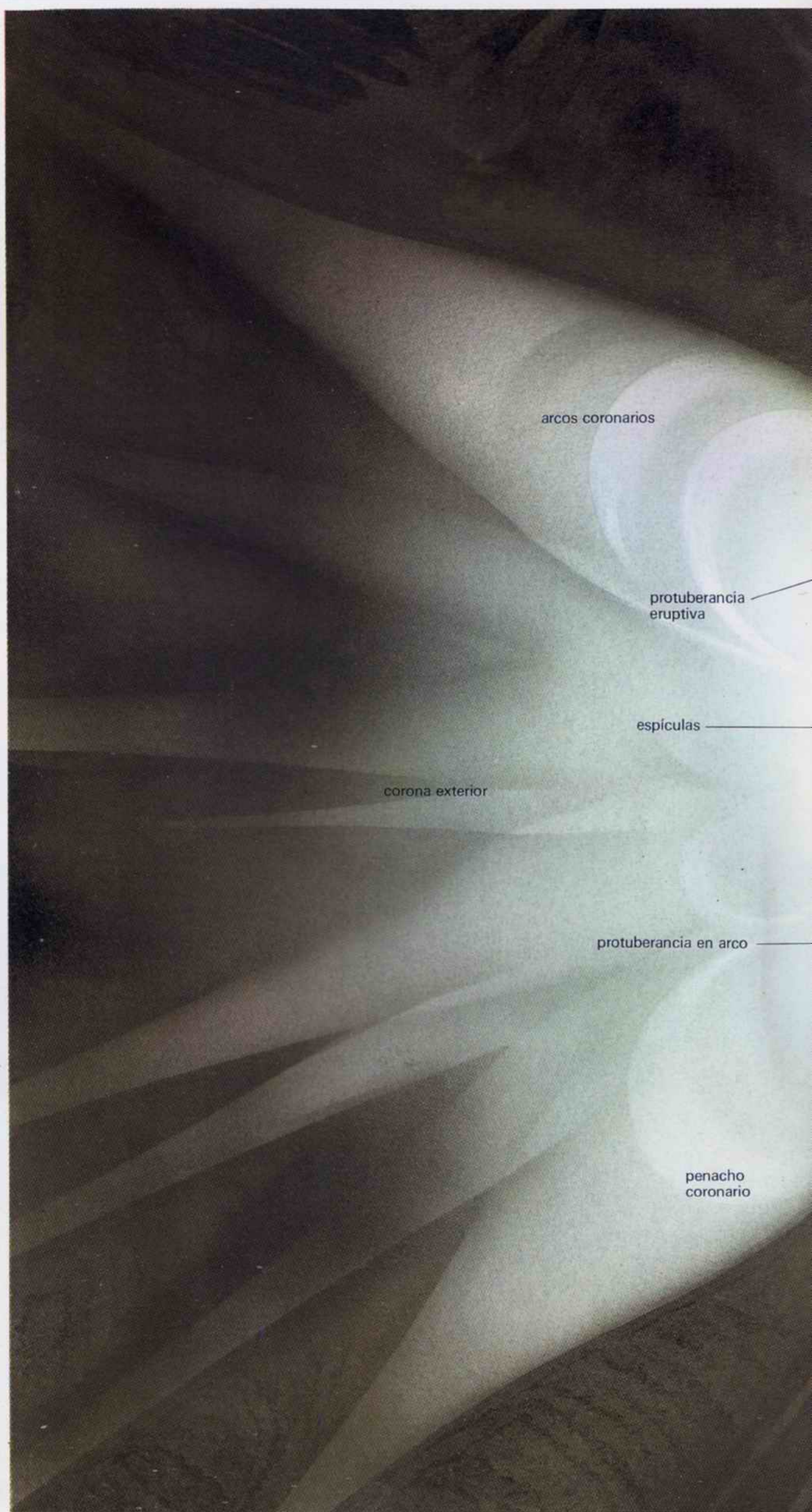
Cada vez que la Luna, describiendo su órbita alrededor de la Tierra, pasa por delante del Sol oscureciéndolo, se produce un eclipse solar total. Se trata de un fenómeno bastante raro que tiene lugar como mucho una vez por año (entre 1985 y el año 2000 están previstos doce eclipses solares totales).

En la Antigüedad, antes de que el hombre estuviera capacitado para comprender las causas de este fenómeno, los eclipses solían ser considerados como sucesos terroríficos, presagio de grandes males, y causaban notables preocupaciones entre la población de entonces; todavía hoy hay quien los teme, y es que en pleno día la Tierra cae en la oscuridad, las flores se cierran, una sensación de estremecimiento invade el aire mientras los pájaros dejan de cantar y en los campos los animales asustados emiten gemidos. No es de extrañar, pues, que en aquella época las gentes, ignorantes de lo que en realidad sucedía, llegaran a pensar en el fin del mundo. Los chinos creían que un gigantesco dragón estaba devorando al Sol y reaccionaban haciendo mucho ruido (para espantar al monstruo probablemente) y lanzando flechas hacia el cielo. Seguramente debieron llegar a la conclusión de la efectividad de este sistema, ya que ningún eclipse solar dura más de siete minutos y medio (la duración media de un eclipse solar total es de alrededor de dos minutos y medio).

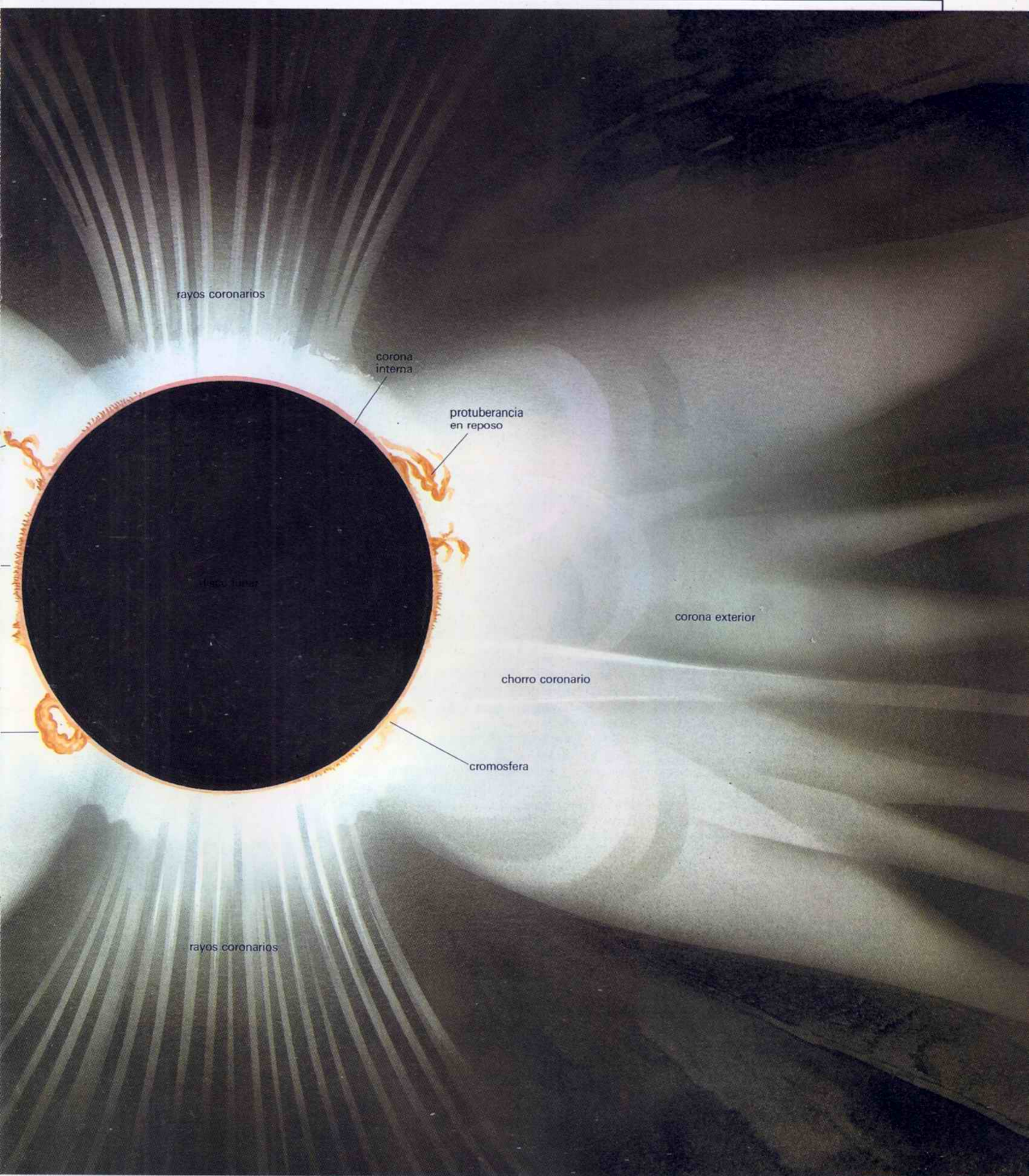
El 28 de mayo del 585 a. de C. —conocemos exactamente la fecha porque es posible determinar con precisión las fechas de los eclipses pasados y futuros— un eclipse salvó la vida de varios miles de personas. Los medos, un pueblo de la antigua Persia, y los lidios, habitantes del Asia Menor occidental, que habían combatido entre sí durante cinco años, estaban a punto de empezar nuevamente la guerra cuando de improviso se produjo un eclipse solar que los dejó tan asustados que decidieron deponer las armas y establecer de nuevo la paz entre ellos.

**Tipos de eclipses** Los principales tipos son evidentemente el *eclipse solar* y el *eclipse lunar*.

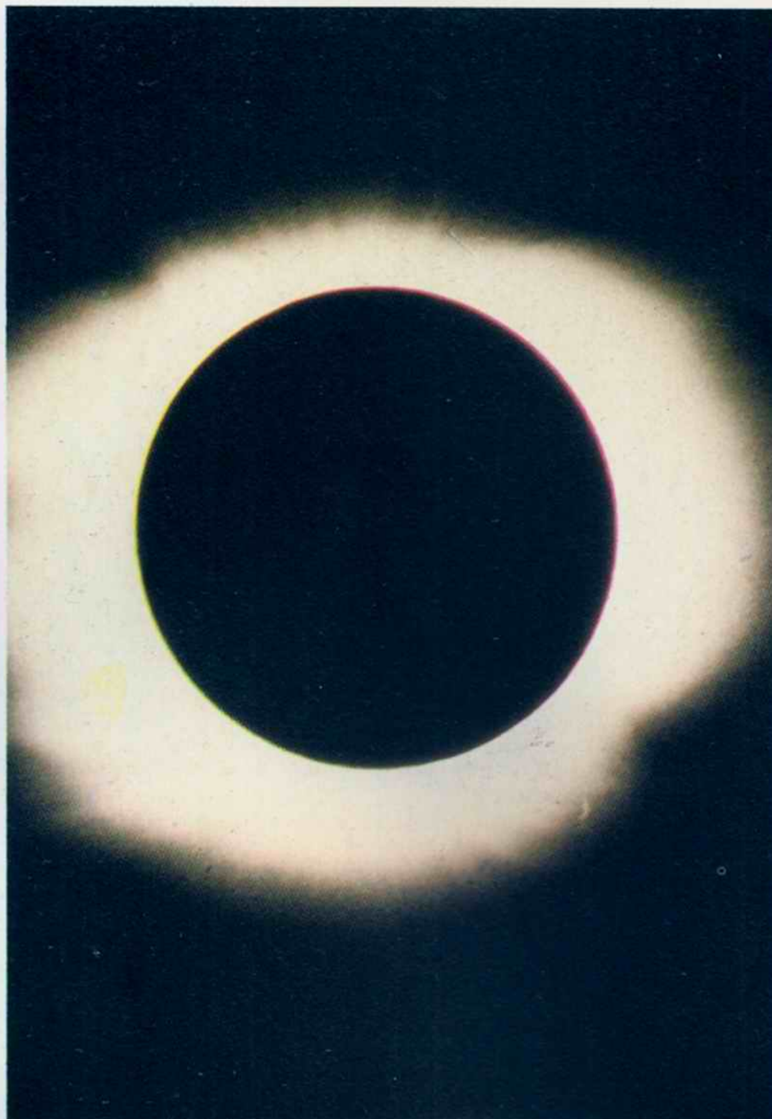
Sin embargo existen además otros tipos. Un eclipse se verifica cuando dos astros, que giran el uno alrededor del otro, se colocan periódicamente en sus respec-




A la derecha, el fenómeno del eclipse solar, que tiene lugar cuando la Luna se interpone entre la Tierra y el Sol. Se trata de un eclipse total, en el cual el Sol eclipsado muestra la espléndida luz de su corona. Son visibles los característicos penachos debidos a la presencia del débil campo magnético general y a los campos locales más intensos. Se aprecian igualmente las protuberancias con su característico color carmesí. El eclipse de Sol es más raro que el eclipse de Luna, resultado de la interposición de la Tierra entre el Sol y la Luna.


rayos coronarios
corona interna
protuberancia en reposo
corona exterior
chorro coronario
cromosfera
rayos coronarios







tivas órbitas de forma tal que uno de ellos oculta la luz procedente del otro. El paso de un pequeño cuerpo celeste por delante de otro mayor se llama *tránsito*. Algunos ejemplos los tenemos cuando la Luna eclipsa varias estrellas durante su paso por el cielo o cuando a veces los planetas Mercurio y Venus pasan delante del Sol. La ocultación tiene lugar cuando un cuerpo celeste muy grande tapa la luz de otro aparentemente más pequeño (por ejemplo, cuando la Luna o algunos otros cuerpos celestes bloquean la luz que procede de un planeta o de una estrella lejana).

En la práctica, el eclipse puede definirse como el oscurecimiento parcial o total de un cuerpo celeste por otro, oscurecimiento que tiene lugar cuando los dos cuerpos celestes se encuentran alineados entre sí y con la Tierra.

**Eclipses solares** El eclipse solar tiene lugar sólo cuando hay luna nueva, ya que en esta ocasión la Luna y el Sol se encuentran alineados con la Tierra.

Podría pensarse, por tanto, que mensualmente, cuando hay luna nueva, tiene lugar el eclipse solar; sin embargo, no sucede así, ya que la órbita lunar no se encuentra alineada con la de la Tierra alrededor del Sol. Entre las dos órbitas hay una diferencia de inclinación de unos 5 grados; consiguientemente la Luna pasa algunas veces por debajo o por encima de la órbita de la Tierra y no se produce eclipse.

El eclipse solar total sólo es visible en algunas partes de la Tierra. En el centro de la zona oscurecida por el eclipse se encuentra una superficie circular oscura llamada *cono de sombra*, circundada por una zona más amplia —igualmente circular— semioscura llamada *cono de semisombra*. Cuando la Tierra gira, el cono de sombra cruza rápidamente la superficie de oeste a este a una velocidad de 1.600 km/h. Tan sólo las personas que se encuentran a lo largo de este recorrido, de alrededor de 274 km, pueden ver el eclipse total. La penumbra se extiende a zonas más amplias que alcanzan los 6.400 km, desde la zona de sombra. Las personas que viven en la zona de penumbra asisten a un eclipse solar parcial. Se estima que desde un mismo punto de la Tierra es posible ver un eclipse solar total sólo una vez cada 360 años.

**Eclipses lunares** De la misma forma que un ser humano o un objeto proyectan una sombra cuando se encuentran bajo los rayos del Sol, también la Tierra proyecta una sombra en dirección opuesta al Sol. Si la Tierra gira en su órbita alrededor del

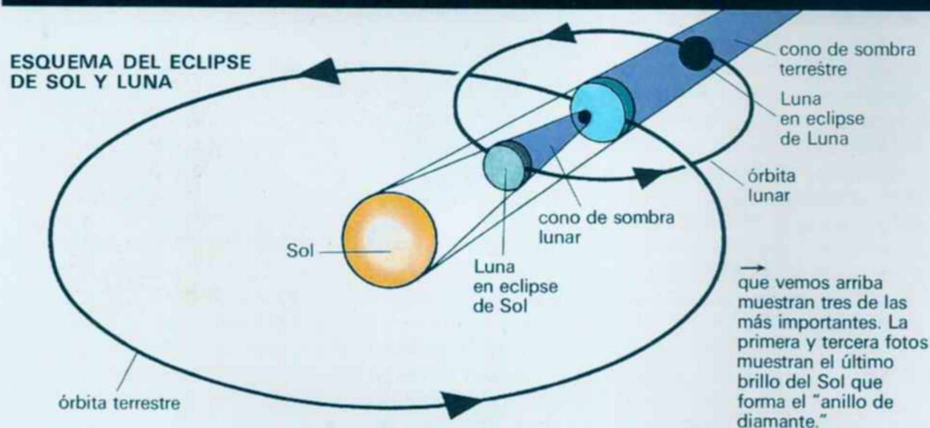


En las fotos de arriba vemos tres momentos de un eclipse total de Sol. El diámetro del disco lunar es casi igual que el del Sol. En los meses de verano la Tierra se encuentra más alejada del Sol, que parece más pequeño, de forma que la Luna puede ocultarlo así durante un tiempo bastante largo. Sin embargo, durante los meses de invierno boreal, la Tierra se encuentra más cercana al Sol, y la Luna no logra ocultarlo totalmente cuando pasa por delante, resultando así un eclipse anular. Para los astrofísicos únicamente son interesantes los eclipses totales en los cuales la Luna aparece mayor que el Sol, y cuyo desarrollo tiene cuatro momentos fundamentales en los cuales las circunferencias del satélite y del Sol están en aparente contacto; los contactos son cuatro y las imágenes →

dirección del movimiento lunar

sección del cono de la sombra terrestre

**ESQUEMA DEL ECLIPSE DE SOL Y LUNA**




→ que vemos arriba muestran tres de las más importantes. La primera y tercera fotos muestran el último brillo del Sol que forma el "anillo de diamante."

A la izquierda, el Sol, la Tierra y la Luna en dos posiciones: cuando la Luna se interpone entre el Sol y la Tierra dando lugar a un eclipse de Sol y cuando la Luna se encuentra al lado opuesto y queda eclipsada. El fenómeno del eclipse no tiene lugar en cada rotación de la Luna alrededor de la Tierra; evidentemente la órbita de la Luna alrededor de la Tierra resulta inclinada y cuando la Luna pasa entre la Tierra y el Sol su sombra pasa por encima o por debajo de la sombra de la Tierra. Arriba vemos la Luna mientras se sumerge en el cono de sombra de la Tierra teniendo lugar un eclipse total de Luna, fenómeno sustituido a veces por el eclipse parcial. La luz que se filtra por el contorno de la Tierra colorea la Luna de rojo, como puede apreciarse abajo en la página anterior.

Sol, su sombra se desplaza con un movimiento circular, de forma que aproximadamente cada 29 días la Luna llena es alcanzada por la sombra de la Tierra. Muchas veces la Luna llena pasa por encima o por debajo de la sombra; sin embargo, algunas pasa justamente a través de la sombra, teniendo lugar entonces un eclipse lunar. No obstante, si la Luna atraviesa el cono de sombra de la Tierra, tendremos un eclipse de sombra, que puede ser total o parcial. Cuando la Luna se encuentra en la zona de penumbra, tendremos un eclipse de penumbra.

El eclipse lunar parcial tiene una duración de varias horas, mientras que el total dura como máximo una hora y cuarenta minutos. Incluso durante un eclipse total la Luna no desaparece completamente, porque la luz solar difundida por la atmósfera terrestre es distribuida en la sombra de la Tierra sobre la Luna. En estos casos la Luna aparece a veces de color cobre rojizo.

**La importancia científica de los eclipses** En el curso de los siglos el estudio de todo tipo de eclipses ha sido muy útil para los astrólogos. Los eclipses solares, por ejemplo, han sido una gran ayuda para determinar la exacta posición relativa entre la Tierra, el Sol y la Luna.

En el año 1675, el astrólogo danés Ole Roemer calculó la velocidad aproximada de la luz estudiando los eclipses de las lunas de Júpiter.

En 1915, la teoría de la relatividad de Einstein postulaba que la gravedad del Sol desviaba la luz de las estrellas cercanas. En condiciones normales, la luz deslumbrante del Sol oscurece las estrellas vecinas; sin embargo, algunas fotografías hechas en el año 1919 durante un eclipse solar (cuando puede observarse la luz de estas estrellas) ofrecieron un apoyo válido a la teoría de Einstein.

Véase **Estrella doble; Luna; Planetas; Sol**

# Ecología

La Ecología estudia los seres vivos en su medio ambiente; estudia, precisamente, las relaciones entre los organismos y los factores físico-químicos (luz, temperatura, salinidad, oxígeno, etc.) del lugar donde viven, así como las que se establecen entre todos los organismos que coexisten en el mismo lugar. En resumen: la Ecología estudia los sistemas formados por muchos individuos de distintas especies en su medio ambiente, es la Biología de los ecosistemas. Un *ecosistema* es el conjunto de factores climáticos, de compuestos químicos, de microorganismos, de plantas y de animales implicados en un proceso dinámico e incesante de interacción en un lugar determinado, de características más o menos definidas.

Un ecosistema puede ser grande, como por ejemplo la selva ecuatorial en la cuenca del Amazonas (Suramérica), o bien puede ser pequeño como un efímero charco donde se reproducen los sapos en primavera; pero en cualquier caso, son de una importancia primordial las relaciones funcionales y de interdependencia que se establecen entre sus componentes. Estas relaciones y el modo en que ellas influyen sobre el flujo de energía que atraviesa el sistema constituyen propiamente el objeto de estudio de la Ecología.

**Componentes del ecosistema y cadena trófica** Partes del ecosistema son la tierra, el aire y el agua. Sus características determinan el tipo de *biotopo* (lugar o sustrato) en el que viven los organismos. Las variaciones climáticas determinan las características de las poblaciones, así como sus posibilidades de reproducción. Los elementos nutritivos y minerales que se encuentran en el suelo pueden pasar de un ecosistema a otro gracias al aire (por ejemplo: en las tormentas de arena) o por un curso de agua (como en la formación de los deltas fluviales).

Los seres vivos más numerosos de cada ecosistema son las plantas. Ellas absorben la energía solar y, gracias al proceso de fotosíntesis, producen los hidratos de carbono. Además, las plantas toman del suelo elementos y compuestos inorgánicos con los que elaboran otros compuestos orgánicos esenciales para la vida de los organismos animales.

De las plantas (elementos productores, *autótrofos*) dependen los consumidores (*heterótrofos*), generalmente animales, que se pueden dividir en tres niveles: consumidores primarios, o herbívoros, que se alimentan de plantas; consumidores secundarios, o carnívoros que comen a los animales herbívoros; y consumidores terciarios, es decir, carnívoros que se alimentan de otros carnívoros. Estas relaciones vienen descritas por el conocido término de *cadena trófica*, de la que un sencillo ejemplo podría ser la sucesión hierba-saltamontes-pájaro-halcón; sin embargo, en los ecosistemas, la cadena trófica se expresa en forma de una red mucho más compleja de relaciones alimentarias. El saltamontes comparte su dieta con otros consumidores primarios (por ejemplo, caracoles, antílopes y roedores). Un águila puede comportarse como un consumidor terciario al comerse un zorro que a su vez se ha comido un conejo, o bien como un consumidor secundario, comiéndose directamente un conejo. Análogamente, el zorro, a quien le gustan las bayas y los frutos silvestres, es ocasionalmente un consumidor primario. Una cadena trófica puede llegar a hacerse increíblemente complicada.

En cada eslabón sucesivo de la cadena se pierde parte de la energía que atraviesa el ecosistema, principalmente en forma de calor en la respiración. Los restos y cuerpos muertos de plantas y animales, excrementos y compuestos orgánicos diversos contienen todavía energía utilizable, que mantiene poblaciones de descomponedores saprófagos que se nutren de materia orgánica en descomposición. Los descomponedores, hongos y bacterias, tienen un valor incalculable, puesto que se encargan de restituir los principios inorgánicos al terreno, que podrá ser de nuevo utilizado por los productores primarios o seres autótrofos.

**19 millones de elefantes** La Biología de poblaciones se puede considerar parte de la Ecología, ya que, si bien se interesa por las especies consideradas una a una al estudiar la dieta, los depredadores, la preferencia de hábitat y otras cuestiones similares, está obligada a tener en cuenta los componentes de la comunidad. El ecólogo de poblaciones estudia la capacidad de regulación de las mismas, es decir, cómo las especies son capaces de perpetuarse sin extinguirse ni llegar a una superpoblación en su propio hábitat que llevaría a una ruptura del equilibrio. Características importantes de una población son su tasa de natalidad, su tasa de mortalidad, la tendencia a la dispersión (emigración e inmigración) y la distribución por clases de edad. La adaptabilidad evolutiva de la población y su fertilidad (capacidad de los individuos para engendrar descendientes) son igualmente importantes.

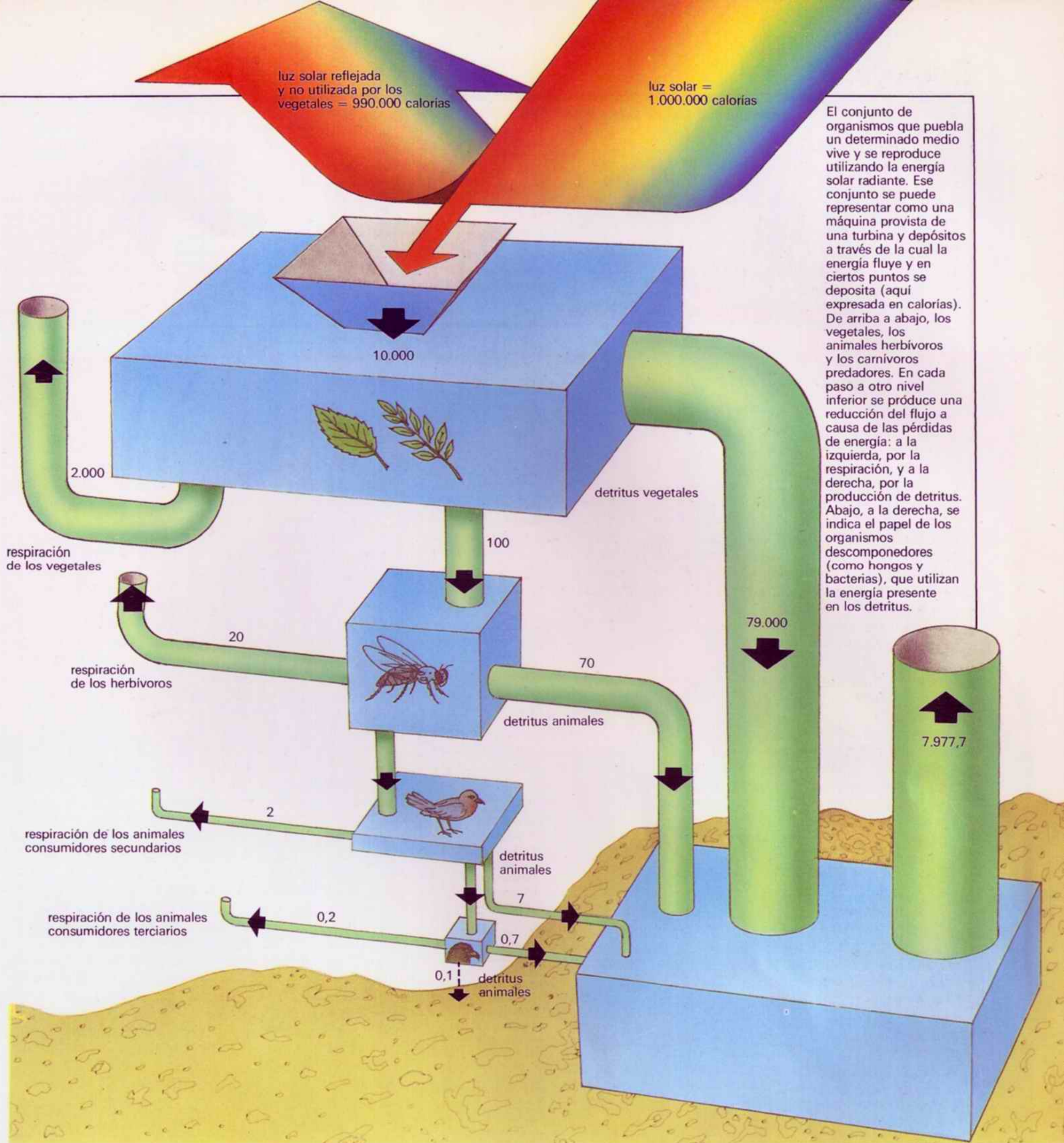
Charles Darwin puso como ejemplo al elefante —la especie de tasa de reproducción más baja y crecimiento más lento— para indicar el enorme crecimiento potencial de las poblaciones. Calculó que partiendo de una pareja de elefantes se podría llegar, en 750 años, a más de 19 millones de descendientes viviendo contemporáneamente. Si los elefantes aparecieron en un tiempo todavía más antiguo, nos preguntamos cómo ha sido posible que no nos hayan invadido con un número de individuos supuestamente tan elevado. Una de las razones es que cuando demasiados elefantes viven juntos en un área limitada, y en consecuencia se produce escasez de alimentos, la población experimenta una "tensión (*stress*) social". Mientras que la edad mínima para que una elefanta pueda quedar preñada en condiciones normales es de 12 años, en una situación de *stress* dicha edad puede ascender hasta los 20 años e incluso más; además, los cuatro años de diferencia mínima entre dos camadas sucesivas pueden alargarse hasta nueve o más.

Algunos aspectos del estudio del comportamiento animal o *Etología* están también dentro del campo de la Ecología, como, por ejemplo, las migraciones animales, las estrategias de caza, el comportamiento reproductor y el sentido de territorialidad. A menudo es necesario fijarse en el animal aislado, por lo que el investigador lo captura y lo vuelve a dejar en libertad después de haberle colocado una señal fácilmente visible incluso a gran distancia. Actualmente, muchos animales viven con pequeñas radioemisoras fijadas a su cuerpo, que permiten a los investigadores localizarlos en cualquier momento.

**Ecosistemas estables** Los ecosistemas varían en el tiempo. El proceso por el que un ecosistema cambia gradualmente, de manera que con el tiempo deba reconocerse como un ecosistema diferente, se denomina *sucesión*. La sucesión lleva a ecosistemas cada vez más complejos con muchas más especies, con un número muy elevado de relaciones de interdependencia entre ellas, más estables en el sentido de una variación mucho menor y más lenta en el tiempo. Esta comunidad más estable —final—, que apenas varía ya con el tiempo, se denomina *climax*. Por ejemplo, un pequeño lago se va llenando progresivamente de fango y materia orgánica, llegando a colmatarse, de forma que en ese terreno puede establecerse posteriormente una pradera; junto a las plantas herbáceas aparecen y se desarrollan poco a poco pequeñas plantas arbustivas, venciendo la competencia por la luz y los nutrientes que se establece con las hierbas; finalmente, aparecerán los árboles y se establecerá un bosque: la comunidad climax comienza su existencia.

Uno de los más estables y variados ecosistemas que existen en la Tierra son los arrecifes coralinos. Su complejidad es comparable sólo con la de la selva ecuatorial. Gracias a la enorme variedad de organismos vivos que reciclan todo tipo de material orgánico, prácticamente ningún elemento nutritivo se desperdicia. Los arrecifes coralinos se desarrollan sólo en las zonas de poca profundidad de los mares tropicales, con una temperatura constante de unos 20 °C y con un alto contenido en oxígeno debido al constante movimiento del oleaje.

La estructura de los arrecifes coralinos está formada por esqueletos calcificados de generaciones y generaciones de pequeños pólipos —clase *Anthozoa*—. Generalmente el arrecife se encuentra rodeado por lechos de algas. Además de corales y algas, la comunidad del arrecife coralino está constituida por numerosas especies de animales, diversos invertebrados, entre los cuales se cuentan esponjas, gusanos y cangrejos, y por muy distintos tipos de peces.

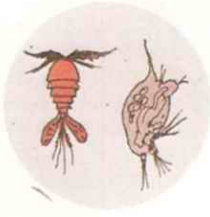


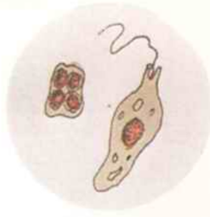

El conjunto de organismos que puebla un determinado medio vive y se reproduce utilizando la energía solar radiante. Ese conjunto se puede representar como una máquina provista de una turbina y depósitos a través de la cual la energía fluye y en ciertos puntos se deposita (aquí expresada en calorías). De arriba a abajo, los vegetales, los animales herbívoros y los carnívoros predadores. En cada paso a otro nivel inferior se produce una reducción del flujo a causa de las pérdidas de energía: a la izquierda, por la respiración, y a la derecha, por la producción de detritus. Abajo, a la derecha, se indica el papel de los organismos descomponedores (como hongos y bacterias), que utilizan la energía presente en los detritus.

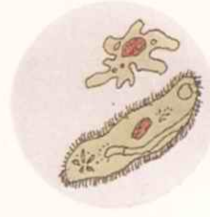
Las interrelaciones del conjunto de miembros de ese ecosistema son fascinantes. Incluso considerando solamente la comunidad de peces, formada por numerosas especies, parecería que no hay suficiente espacio ni alimento para todos. Pero la competencia no es tan cerrada: esos peces han desarrollado un sistema de distribución de los recursos en el tiempo y en el espacio. Es frecuente, por ejemplo, que las especies con comportamiento solitario y territorial no abandonen jamás el pequeño espacio que han elegido alrededor de una fisura; por el contrario, las especies gregarias sólo utilizan el arrecife coralino como refugio nocturno, abandonándolo durante el día para buscar alimento en las praderas de algas. Y hay otras especies que permanecen entre los corales durante el día y salen de noche al mar abierto para alimentarse de plancton, aprovechando la oscuridad como medio de protección contra los depredadores, que sólo pueden verlos con luz diurna. Algunos peces depredadores cazan a la carrera en las proximidades del arrecife en las horas de luz, mientras que otros prefieren quedarse escondidos entre los corales esperando a que la presa se acerque.

**Ecología humana** Como cualquier otro animal, el hombre vive relacionándose con su propio medio. Nuestro punto fuerte como especie es el mayor control que tenemos sobre el ambiente respecto al que puedan tener otros animales; pero a pesar de ello, ignorando los conocimientos que actualmente tenemos sobre las interacciones en un ecosistema, continua-

RELACION ENTRE LOS ORGANISMOS PRESENTES EN UN ECOSISTEMA



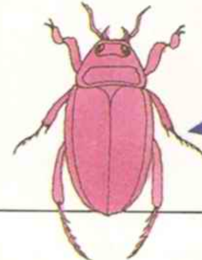












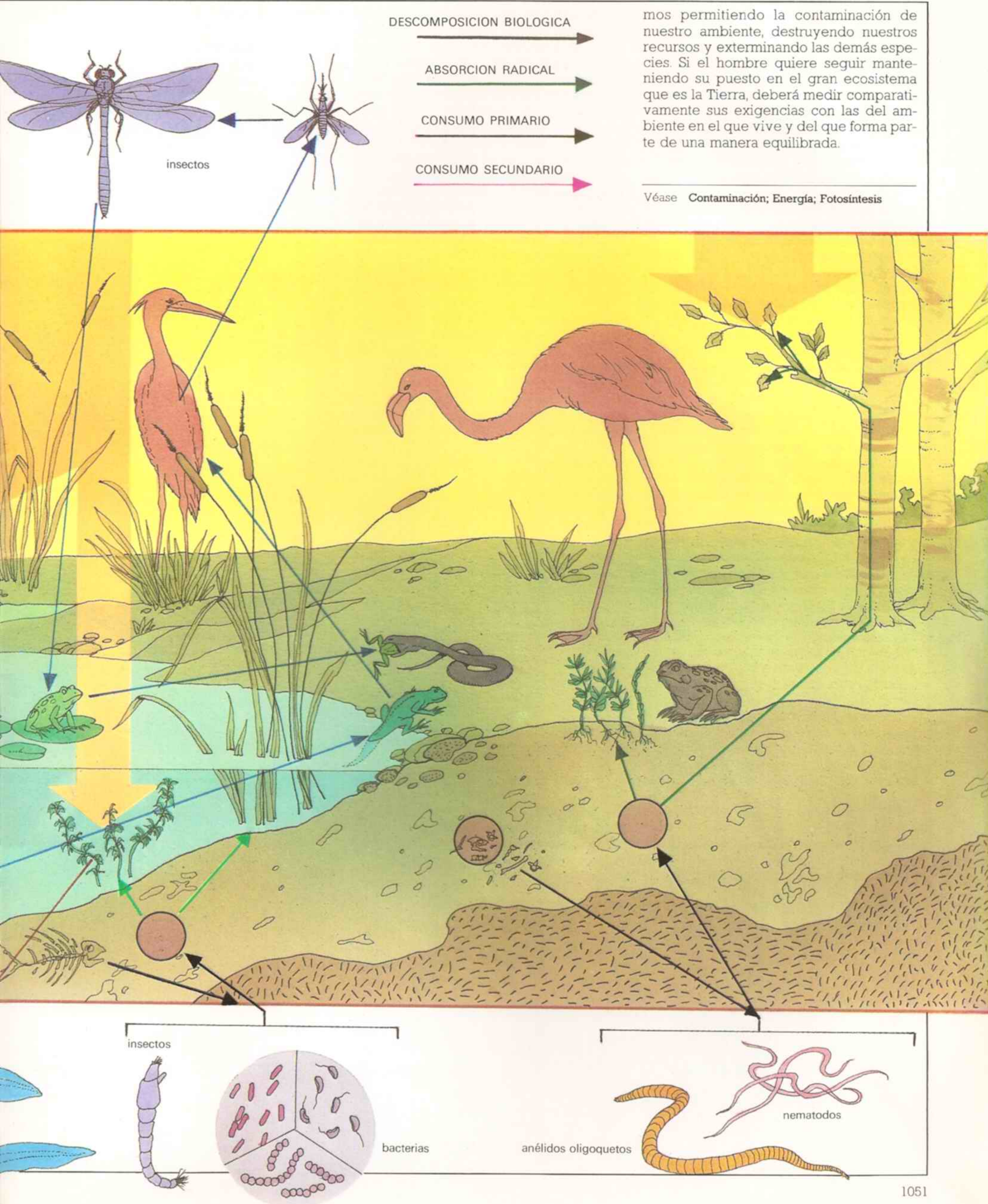






mos permitiendo la contaminación de nuestro ambiente, destruyendo nuestros recursos y exterminando las demás especies. Si el hombre quiere seguir manteniendo su puesto en el gran ecosistema que es la Tierra, deberá medir comparativamente sus exigencias con las del ambiente en el que vive y del que forma parte de una manera equilibrada.

Véase **Contaminación; Energía; Fotosíntesis**



# Ecuaciones diferenciales

Una ecuación es una igualdad condicionada en la que intervienen elementos variables indeterminados, tal que sólo cuando éstos toman ciertos valores particulares aquélla se verifica. Las variables inderteminadas y desconocidas se llaman *incógnitas*, y los valores para los que cumplen la igualdad, *soluciones*. Cuando las incógnitas son funciones se trata de *ecuaciones funcionales*; por ejemplo, si φ es una función continua de ℝ en ℝ y tal que:

$$\varphi(x+y) = \varphi(x)\cdot\varphi(y) \qquad \forall x,y \in \mathbb{R}$$

la anterior igualdad es una ecuación funcional cuya solución es $\varphi(x) = e^x$.

Cuando aparecen en la ecuación las derivadas de la función incógnita se dice que se trata de una *ecuación diferencial*. Un caso elemental sería el de determinar y(x) sometida a cumplir la ecuación:

$$y' = f(x)$$

con *f* una función continua conocida. Evidentemente, en tal caso, se tendría como solución

$$y = F(x) + C$$

siendo *F* una primitiva cualquiera de *f* (es decir, una función que cumpla $F' = f$ o, lo que es lo mismo, $\int f\,dx = F$) y *C* una constante arbitraria. Es ésta la ecuación diferencial más simple posible y se reduce, de hecho, al problema fundamental del Cálculo: encontrar una función conociendo su derivada. A pesar de su sencillez, el ejemplo pone de relieve que la solución no es una función única, sino que se trata de una familia que depende de un parámetro *C* (que puede tomar infinitos valores). Por otra parte, pone de manifiesto una circunstancia que no siempre se da: la de que la resolución de la ecuación diferencial, lo que se llama su *integración*, se reduzca a una *cuadratura* (la operación de hallar la primitiva de *f*, que en Cálculo Integral se conoce también por "integrar").

Los problemas más inmediatos que se presentan al considerar una ecuación diferencial son: el de hallar su *solución* o *integral general*, es decir, la expresión de una función (dependiente de la variable independiente y, como se ha visto, de constantes arbitrarias) que sustituida, ella y sus derivadas, en la ecuación la verifique idénticamente; o bien, encontrar *soluciones particulares* que cumplan algunas condiciones adicionales. Ambos, dando por supuesto, lo que no siempre sucede, que existan.

**Un ejemplo típico** Numerosos fenómenos (físicos, químicos, biológicos, económicos, etc.) admiten modelizarse mediante una ecuación del tipo:

$$\frac{dx}{dt} = a(t)x + b(t)$$

cuyo significado es el siguiente: *t* es una variable real independiente (por regla general representativa del tiempo) y *x*(*t*) la variable, función de *t*, característica del fenómeno; la velocidad de cambio de *x* se considera igual a una función de *t*, conocida e independiente de *x*, *b*(*t*), más una cantidad proporcional a *x*, en la forma *a(t)x*. Ambas, *a(t)* y *b(t)*, son funciones continuas conocidas. Según que *a(t)* sea positiva o negativa resultará que dicha velocidad aumentará o disminuirá proporcionalmente a la propia *x(t)* (y, por tanto, ésta tenderá, respectivamente, a incrementarse o decrecer). En muchos casos *a(t)* y *b(t)* pueden considerarse valores constantes. El nombre completo de la ecuación ejemplificada es el de *ecuación diferencial ordinaria de primer orden lineal*. Si $b(t) = 0$, para todo *t*, se dice que la ecuación es *lineal homogénea*; en caso contrario, que es *completa*. Véase como puede resolverse. En primer término es fácil comprobar que la integral general (la que incluye una constante arbitraria y es la expresión más general posible de entre las que satisfacen idénticamente la ecuación) puede descomponerse en la forma siguiente:

$$x(t) = x_h(t) + x_p(t)$$

donde $x_h$ es la solución general de la ecuación homogénea (incluyendo una constante) y $x_p$ una solución particular cualquiera. Entonces puede calcularse $x_h$, ya que se tendrá:

$$\frac{dx_h}{dt} = a(t)x_h \;;\quad \frac{1}{x_h}\frac{dx_h}{dt} = a(t)$$

que, mediante una cuadratura, da

$$\log x_h(t) = \int_{t_0}^{t} a(\tau)d\tau + k$$

(donde *log* indica logaritmo neperiano, $t_o$ es un valor fijo cualquiera de la variable *t* y *k* una constante arbitraria). El anterior resultado puede escribirse más cómodamente como:

$$x_h(t) = C\,\exp\left[\int_{t_0}^{t} a(\tau)d\tau\right] = C\psi(t)$$

habiendo hecho: $e^k = C$, utilizado la notación $e^z = exp\ z$ y denotado por ψ(t) la expresión

$$\exp\left[\int_{t_0}^{t} a(\tau)d(\tau)\right]$$

Ya sólo queda calcular $x_p$; para ello se utiliza un viejo "truco" ideado por Lagrange para resolver ecuaciones diferenciales lineales completas, y cuyo paradójico nombre es el de "variación de las constantes". Consiste en hacer el cambio de la incógnita siguiente: $x_p = \varphi(t)\ \psi(t)$, siendo $\varphi(t)$ la nueva función que hay que calcular (de ahí el nombre dado al método, porque parece como si $x_p$ tuviera la misma forma que $x_h$ pero sustituyendo la constante por una variable). Para determinar $\varphi(t)$ basta sustituir en la ecuación completa, teniendo en cuenta que $\psi(t)$ cumple la homogénea; después de un cálculo sencillo queda:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{b(t)}{\psi(t)}$$

que, con una cuadratura, da

$$\varphi(t) = \int_{t_0}^{t} \frac{b(s)}{\psi(s)}ds$$

Por último, habida cuenta de los cambios realizados, puede obtenerse la siguiente expresión, llamada usualmente fórmula de Leibniz, para la integral de la ecuación completa:

$$x(t) = \psi(t)\left[C + \int_{t_0}^{t} b(s)[\psi(s)]^{-1}ds\right]$$

donde *C* es una constante arbitraria y

$$\psi(t) = \exp\left[\int_{t_0}^{t} a(\tau)d(\tau)\right]$$

$$[\psi(s)]^{-1} = \exp\left[-\int_{t_0}^{s} a(\tau)d\tau\right]$$

Si se trata de hallar la solución particular que cumple una determinada condición inicial, $x(t_o) = x_o$, se sustituiría y obtendría, teniendo en cuenta que $\psi(t_o) = 1$, que

$$x(t) = \psi(t)\left[x_0 + \int_{t_0}^{t} b(s)[\psi(s)]^{-1}ds\right]$$

Como es obvio, en vez de integrar entre $t_o$ y *t*, puede tomarse cualquier primitiva sin alterar la forma ni la validez de la

**ESQUEMA METODOLOGICO**

**1. Problema básico**
- 1.1. Solución general
- 1.2. Soluciones particulares
  - 1.2.1. Con condiciones iniciales
  - 1.2.2. Con condiciones de contorno
  - 1.2.3. Con condiciones mixtas (*)
- 1.3. Problemas especiales
  - 1.3.1. Estabilidad
  - 1.3.2. Control

(*) Sólo en EDP.

**2. Cuestiones planteadas**
- 2.1. Existencia de soluciones
- 2.2. Unicidad de soluciones
- 2.3. Propiedades de las soluciones (continuidad, derivabilidad, etc.)
- 2.4. Obtención de expresiones analíticas exactas
- 2.5. Obtención de expresiones analíticas aproximadas
- 2.6. Obtención de soluciones numéricas

**3. Métodos**
- 3.1. Métodos «cualitativos» (algebraicos, topológicos, analíticos, etc.)
- 3.2. Integración formal (cuadraturas, desarrollos, etc.)
- 3.4. Métodos aproximados
- 3.5. Análisis Numérico
- 3.6. Métodos varios (gráficos, técnicas «ad hoc», etc.)

solución general; se utiliza el punto $t_0$ (por otra parte genérico y arbitrario) para simplificar, como se ha visto, el cálculo de la solución particular.

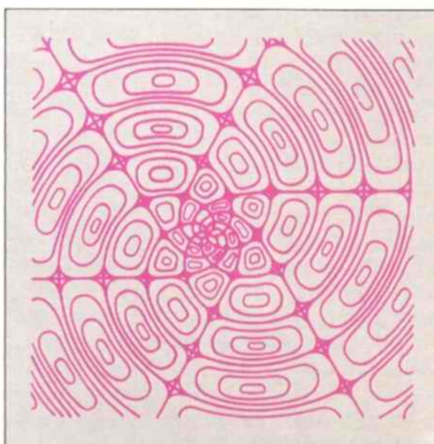
El anterior ejemplo es sumamente importante por sus aplicaciones ($x$ puede representar cosas tan diversas como la masa de una sustancia radiactiva o la concentración de bacterias en un cultivo, eligiendo apropiadamente $a(t)$ y $b(t)$), pero también porque resume de modo sencillo buena parte de las propiedades y técnicas de solución de una de las más interesantes —desde los puntos de vista teórico y aplicado— y, desde luego, más estudiadas clases de ecuaciones diferenciales: las *lineales*. Sin embargo, por desgracia, en general las cosas son más complicadas: no se pueden hallar expresiones explícitas para sus soluciones, es problemática la existencia de las mismas, etc.

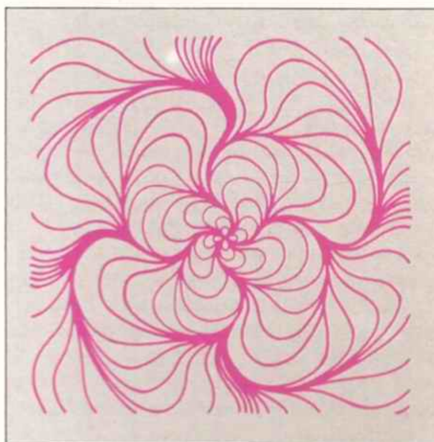
**Clases de ecuaciones diferenciales** Cuando la función incógnita lo es de una única variable y, obviamente, aparecen en la ecuación solamente derivadas respecto a la misma, se trata de lo que se llama *una ecuación diferencial ordinaria* (EDO). Por el contrario, cuando la función depende de varias variables y en la ecuación intervienen las derivadas parciales de dicha función respecto a aquéllas se dice que se trata de una *ecuación* (diferencial) *en derivadas parciales* (EDP).

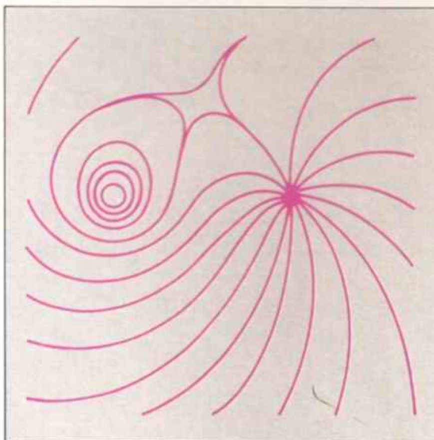
Si en vez de tener una sola EDO o EDP, relativa a una única incógnita, se trata de estudiar $n$ ecuaciones simultáneas en $n$ funciones incógnitas se dice que se trata de un *sistema diferencial* ordinario o en derivadas parciales, según sea el caso.

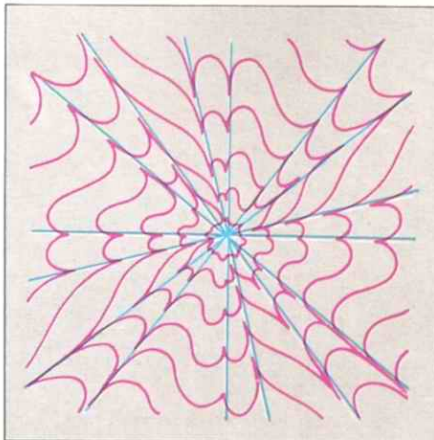
Las dos notas características más importantes de una ecuación (o de un sistema) son su *orden* y el tipo de operaciones matemáticas a que está sometida la función y sus derivadas. En cuanto al primero, se define como el orden de derivación de la derivada que lo tenga mayor entre las que intervienen en la ecuación. En cuanto al segundo, se distinguen fundamentalmente las ecuaciones *lineales* de las *no lineales*; las primeras son aquéllas en las que la función y sus derivadas aparecen sólo en operaciones lineales (es decir, multiplicadas por números o funciones dados y sumadas), y las segundas, las que no cumplen tal restricción. A veces se matiza más y se habla de ecuaciones *cuasilineales*, que son aquéllas en las que la derivada de mayor orden aparece operada linealmente y las de orden inferior (incluida la función) en cualquier forma. Igualmente se habla, cuando la función y sus derivadas figuran sólo en expresiones de tipo algebraico, del *grado* de la ecuación (¡no se confunda nunca con el orden!), que es el que tendría la ecuación como algebraica al considerar como incógnitas la función y sus derivadas; así, por ejemplo, las ecuaciones lineales son, desde esta perspectiva, de primer grado.

Lo dicho anteriormente se pone de manifiesto en los siguientes ejemplos elementales:









(*a*) $y'' + y = e^x$
(*b*) $y' + y^2 = 0$
(*c*) $\dfrac{\partial u}{\partial x} + \dfrac{\partial u}{\partial y} = 0$
(*d*) $\dot{x} = x(t) + 2y(t) + 1$
$\dot{y} = 2x(t) + y(t)$

En los ejemplos (*a*), (*b*) y (*d*) se trata de ecuaciones ordinarias; en el (*c*), de una ecuación en derivadas parciales. Los ejemplos (*a*) y (*d*) se refieren a ecuaciones de segundo orden. Todos los ejemplos son ecuaciones (o sistemas) lineales, salvo el (*b*). Además son muy simples y tales que es posible encontrar, para cada uno, su integral general. En efecto: las soluciones respectivas son:

(*a*) $y = C_1 \cos x + C_2 \operatorname{sen} x + \dfrac{1}{2} e^x$

(*b*) $y = \dfrac{1}{x + C}$

(*c*) $u(x, y) = \varnothing(x - y)$

(*d*) $x(t) = C_1 e^{-t} + C_2 e^{3t} + \dfrac{1}{3}$

$y(t) = -C_1 e^{-t} + C_2 e^{3t} - \dfrac{2}{3}$

(expresiones en las que $C_1$, $C_2$ ó $C$ representan constantes arbitrarias y $\varnothing(z)$, una función arbitraria, pero derivable, en la que $z$ se ha de sustituir por la combinación $x-y$).

Otra cuestión que conviene señalar es que la teoría de ecuaciones diferenciales suele considerar que éstas están (o pueden ponerse) en *forma normal*; es decir, de modo que la derivada de mayor orden, entre las que figuran en la misma, esté despejada. Lo que supone que si, por ejemplo, se da en la forma implícita $f(x, y, y') = 0$, debe primeramente despejarse la $y'$. Así se tendría que $x^2 + y^2 + (y')^2 = 0$, no sería una ecuación diferencial (en variable real), mientras que $x^2 + y^2 - (y')^2 = 0$ se desdoblaría en dos EDO en forma normal:

$$y' = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \text{e} \quad y' = -\sqrt{x^2 + y^2}$$

Otra cuestión interesante es la de la relación entre ecuaciones de orden superior y sistemas. En efecto: si se tiene un sistema se puede recurrir a operaciones de derivación para reducir su solución a la de una ecuación de orden superior. Por ejemplo, sea:

$$x + \dot{y} = 0 \qquad \dot{x} - y = 0$$

si se deriva la primera se tendrá $\dot{x} = -\ddot{y}$ que sustituida en la segunda da $\ddot{y} + y = 0$; resuelta ésta se tendría $y(t)$ y, utilizando la primera ecuación, $x(t)$.

Sin embargo es más interesante la operación inversa: reducir las ecuaciones de

La integral general de una EDO incluye tantas constantes como indica su orden. Por ejemplo, una simple ecuación de primer orden tiene una solución cuya imagen geométrica es una familia uniparamétrica de curvas. En la figura se representan cuatro casos interesantes por la configuración de sus puntos singulares y el peculiar aspecto de las curvas de la familia (dado el efecto, puramente visual, que se persigue, se han omitido los ejes de las gráficas y las expresiones analíticas de las EDO originales).

orden $n$ a sistemas de $n$ ecuaciones de primer orden. Ello es fácil haciendo un simple cambio de variable del modo siguiente:

$$x(t) = x_1 \text{ , } x'(t) = x_2 \text{ , ... } x^{(n-1)}(t) = x_n$$

entonces la ecuación en forma normal $x^{(n}(t) = f\ (t, x, x', ... x^{(n-1)})$ puede escribirse como el sistema:

$$x'_1 = x_2, x'_2 = x_3, ..., x'_{n-1} = x_n$$
$$x' = f(t, x_1, x_2, ..., x_n)$$

Si al anterior artificio se une el de considerar funciones vectoriales, pueden reducirse tanto las ecuaciones de orden superior como los sistemas a ecuaciones de primer orden en una función incógnita que tome valores en $\mathbb{R}^n$.

**Cuestiones que plantea una ecuación diferencial** Durante mucho tiempo la mayor preocupación de los matemáticos respecto a las ecuaciones diferenciales fue la de *integrarlas*, es decir hallar la función más general posible, llamada *solución* o *integral general*, que satisfaga la ecuación o, en ciertos casos, la función que cumpla la ecuación y alguna condición adicional, llamada *solución* o *integral particular*. Esta situación era posible ya que la solución general siempre depende, como se ha visto en los ejemplos anteriores, de constantes o funciones arbitrarias que, al tomar valores determinados permiten obtener dichas soluciones particulares.

Además los estudiosos de las ecuaciones diferenciales pretendían expresar dichas soluciones como combinaciones más o menos complicadas de funciones elementales o, en todo caso, reducir el problema de la integración al de realizar cuadraturas de funciones de tal tipo. Tal actitud se abandonó por varias razones: la primera y principal porque se demostró que ecuaciones muy simples podían, sin embargo, tener soluciones que no se redujesen a funciones elementales ni a cuadraturas de las mismas (ni siquiera a cuadraturas reiteradas), porque se trataba de funciones trascendentes nuevas. Situación ésta más complicada aún que la producida en el Cálculo Integral cuando se descubrió que las primitivas de funciones muy simples podían ser, sin embargo, nuevas trascendentes no reducibles a funciones elementales.

No obstante, sigue siendo normal tratar de hallar soluciones generales o particulares, cuando ello es posible, en forma de combinaciones de funciones elementales o cuadraturas de las mismas. Más general suele ser el propósito de expresar tales soluciones mediante algoritmos más sofisticados: por ejemplo como series de funciones o como transformaciones integrales. Dicho enfoque puede servir también para encontrar soluciones aproximadas; por ejemplo sustituyendo la serie por la suma de sus primeros términos. Sin embargo dichos métodos de aproximación, así como otros de naturaleza muy variada (incluso gráfica), han perdido interés ante las ventajas del Análisis Numérico, cuyos métodos de integración numérica permiten obtener valores de las soluciones de un modo directo.

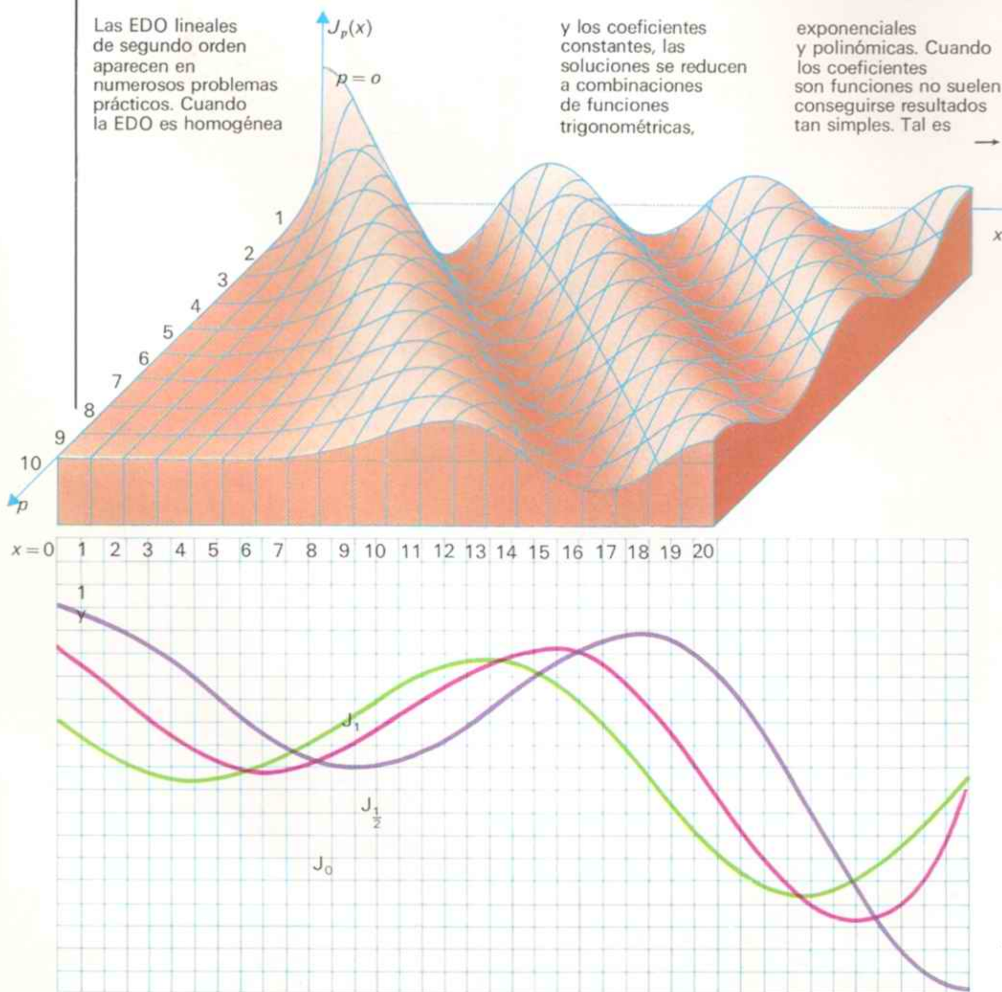
Por otra parte se han ido, cada vez más, desarrollando métodos *cualitativos* que, sin determinar la forma analítica de las soluciones, permitan establecer su existencia o no, así como la continuidad y derivabilidad, respecto a las variables independientes, las condiciones adicionales o los parámetros que figuran en las ecuaciones, el comportamiento asintótico, etc. Dichos métodos *cualitativos* hacen uso de conceptos algebraicos y topológicos, a veces muy sutiles, y permiten establecer lo que se llaman teoremas de existencia y, en su caso, de unicidad para las EDO o las EDP.

Se ha hecho, varias veces, referencia a la distinción entre integral general e integrales particulares. La primera es la más general de las que cumplen la ecuación; cuando se trata de una EDO incluye constantes arbitrarias (tantas como el orden de la misma) y funciones arbitrarias si se refiere a una EDP. Por el contrario una solución particular es una función que cumple la ecuación y además una condición adicional. En el caso de las EDO la condición adicional más sencilla es la de imponer que para un cierto valor de la variable independiente, la función incógnita y sus derivadas, hasta el orden n–1 si el de la ecuación es $n$, toman valores determinados. Este problema, llamado de Cauchy o de *condiciones iniciales*, traduce matemáticamente, generalizándolo, el problema fundamental de la dinámica: encontrar la ley de un movimiento a partir de la ecuación diferencial del mismo,

$$m\ddot{x} = f(t, x, \dot{x})$$

(donde m es la masa de un punto cuya posición sigue la ley $x(t)$ y donde $f$ es la fuerza que actúa sobre él, dependiente, en general del tiempo, la posición y la velocidad), cuando se da para el instante to los valores de la posición y la velocidad $x_0$ y $\dot{x}_0$.

Cabe, sin embargo, también, plantear problemas de *condiciones en los límites* (o *de contorno*) si la EDO tiene orden igual o superior a dos. Se trata, entonces, de buscar la solución que, satisfaciendo la ecuación, cumpla ella y sus derivadas hasta el orden $n - 1$, si el de la ecuación es $n$, precisamente $n$ condiciones en los dos extremos de un intervalo. Muchos problemas de mecánica de los materiales y las estructuras se traducen matemáticamente de esta forma, como es el caso de la flexión de una viga. Un ejemplo simplicísimo puede servir para ver la diferencia en-




Las EDO lineales de segundo orden aparecen en numerosos problemas prácticos. Cuando la EDO es homogénea y los coeficientes constantes, las soluciones se reducen a combinaciones de funciones trigonométricas, exponenciales y polinómicas. Cuando los coeficientes son funciones no suelen conseguirse resultados tan simples. Tal es el caso de la llamada *ecuación de Bessel:*

$$x^2y'' + xy' + (x^2 - p^2)\, y = 0$$

de la que son soluciones particulares las *funciones $J_p$ de Bessel,* que son trascendentes distintas de las elementales y no reducibles a ellas. En las figuras, alguna de ellas (para $p = 0$, $^1/_2$ y 1) y una representación tridimensional en función de $p$ y $x$).

tre un tipo y otro de problemas. Sea la EDO lineal de segundo orden

$$y'' + y = 0$$

su solución general es

$$y = A \cos x + B \operatorname{sen} x$$

que incluye las dos constantes arbitrarias A y B. Un problema de Cauchy para ella sería encontrar la solución particular que hiciese, por ejemplo, que $y(o) = y'(o) = 1$. Derivando y sustituyendo se obtienen los valores que deben tomar A y B para cumplir las condiciones; la solución es:

$$y_1 = \cos x + \operatorname{sen} x$$

Por el contrario si se impusiera la condición de contorno $y(o) = y(\pi) = 0$ se tendría la solución:

$$y_2 = \operatorname{sen} x$$

Como se comprende, por el anterior ejemplo, no siempre se dará la existencia de soluciones.

Cuando se trata de una EDP los problemas son más complejos. Cabe plantearse el problema de Cauchy, correspondiente a encontrar la solución particular que satisface la condición de que para una curva en el espacio de las variables independientes tomen valores prefijados la función y sus derivadas parciales hasta el orden inferior al de la ecuación. Pero cabe también plantearse problemas de *contorno* (para una EDP de segundo o superior orden), consistentes, por ejemplo, en que una función en el interior de un dominio cumpla la EDP y en el contorno o frontera una condición dada. Incluso puede darse lo que se llama un *problema mixto:* una función, en un cierto recinto de las variables "espaciales" y en una semirrecta de la variable temporal cumple la EDP; y además una condición en el contorno del recinto y otra de tipo inicial en el origen de la semirrecta temporal. Un ejemplo clásico es el de la cuerda vibrante, resuelto de dos formas distintas, una debida a D'Alembert y a Euler y otra a Daniel Bernoulli, a mediados del siglo XVIII.

La EDP lineal de segundo orden:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(x, t)$$

se llama de la *cuerda vibrante* (porque una de las interpretaciones es que u(x,t) representa la oscilación transversal de una cuerda tensa en el punto de abscisa x en el instante t) o, también, *de las ondas unidimensional.* Si se supone que $t \sim 0$ y $-\infty < x < \infty$, se pueden imponer condiciones iniciales; si además la cuerda está limitada ente $x = 0$ y $x = 1$ se pueden poner condiciones en los límites (por ejemplo $u(o, t) = u(l, t) = 0$, para todo t, si la cuerda está fija en los extremos), obteniéndose así un problema mixto. Normalmente se distingue el caso homogéneo del completo (correspondientes a vibraciones *libres* o *forzadas* respectivamente).

**Tres notas finales** El campo de las ecuaciones diferenciales es inmenso. El análisis de una sola ecuación puede ser objeto de extensas monografías, a la vez que su historia ocupar un grueso volumen y el elenco de sus aplicaciones extenderse en cientos de artículos, estudios, tablas, etc. Por ello cualquier resumen está forzosamente condenado a la deformación. No para remediar tal inconveniente, fatalmente irremediable, sino para indicar algunas vías de interés se termina con estas tres notas.

Primera sobre las aplicaciones. Estas son numerosas y muy importantes. De hecho las EDO y las EDP han sido, desde Newton y Leibniz, el elemento fundamental con que físicos, astrónomos, científicos, ingenieros y técnicos de todo tipo primero, y, más recientemente, economistas, sociólogos, etc. han modelizado los fenómenos que estudiaban. El desarrollo de otros útiles matemáticos, como las ecuaciones integrales en el siglo pasado o los métodos de la matemática finita y el análisis numérico actuales, no sólo no han deteriorado dicho *status* sino todo lo contrario. Por otra parte no se ha tratado, en este caso de modo más destacado que en otros, de un mecanismo unilateral —los matemáticos ofreciendo elementos de estudio al resto de los científicos— sino de un proceso dialéctico: el desarrollo de las ecuaciones diferenciales es impensable sin la constante incitación y planteamiento de cuestiones por parte de los matemáticos aplicados. Ese ha sido por ejemplo el caso de aplicaciones recientes como la de los problemas de estabilidad y control óptimo de sistemas dinámicos.

Segunda sobre la historia. El papel, a lo largo de los siglos XVII al XX, de la teoría y la práctica de las ecuaciones diferenciales se confunde en gran manera con la del propio Análisis. Newton, Leibniz, Euler, los Bernoulli, D'Alembert, Lagrange, Cauchy, Gauss, Fourier, etc. etc. hasta llegar a nuestros contemporáneos han dejado su huella en esta materia. Incluso muchas de las grandes cuestiones esenciales del Análisis aparecen al tratar ciertas ecuaciones diferenciales; es el caso, ya citado, de la ecuación de la cuerda vibrante que está en el origen del desarrollo de las series de Fourier y en el del concepto moderno de función.

Tercera sobre las nuevas tendencias. De una sola variable real la teoría saltó a varias variables reales o complejas. De la función real a la función vectorial de componentes reales o complejos. Pero no paró la cosa ahí; hoy se plantean, en espacios abstractos de funciones, ecuaciones diferenciales que generalizan los conceptos clásicos; así sistemas de EDO, de EDP o, incluso, de ecuaciones integrodiferenciales pueden tratarse como ecuaciones de evolución, o problemas de contorno relativos a cuestiones clásicas de la Física Matemática como problemas algebraicos relativos a ciertos operadores en espacios abstractos.

Véase **Análisis matemático; Cálculo numérico; Derivada y diferencial; Ecuación e identidad; Ecuaciones en diferencias finitas; Geometría diferencial; Integrales; Optimización**




Los Bernouilli fue una familia de matemáticos suizos que durante los siglos XVII y XVIII dio ocho distinguidísimos científicos. Los más importantes de la dinastía fueron, quizás, Jakob (1654-1705) y Johann (1667-1748), ambos amigos de Leibniz, geniales cultivadores de la primera época del Cálculo infinitesimal y tremendos rivales entre sí. Daniel (1700-1782) era hijo del segundo de ellos, y contribuyó con importantes resultados a la matemática de su época. La aportación que aquí interesa es su solución mediante series trigonométricas a la *ecuación de la cuerda vibrante* (con condiciones mixtas) en contraposición con la solución de D'Alembert (1717-1783), también encontrada por Euler (1707-1783). La solución de Daniel Bernoulli no sólo fue interesante para ciertas aplicaciones (físicas, musicales, etcétera), sino que resultó muy importante para el desarrollo de lo que luego se llamarían *series de Fourier* (ya apuntadas por él mismo, por Euler y otros matemáticos) y también, para el concepto moderno de función.

# Ecuaciones e identidades

Un concepto fundamental en lógica y en matemáticas es el de *igualdad*. Se trata de un concepto primario y, por tanto, no definible por reducción a otros más simples. Se suele decir, no obstante, que dos entes $x$ e $y$ son *iguales* cuando son *indistinguibles* o cuando son lo *mismo* el uno que el otro y escribir que $x = y$. Este tipo de igualdad suele denominarse *identidad* en el caso $x = x$.

La *igualdad* (o *identidad*) entre elementos de un cierto conjunto, considerada como relación binaria en el mismo, goza de tres propiedades: es reflexiva (todo elemento $x$ es igual a sí mismo); es simétrica (si $x$ es igual a $y$, también $y$ es igual a $x$); y es transitiva (si $x$ es igual a $y$ e $y$ es igual a $z$, entonces $x$ es igual a $z$). Pero éstas son también, en general, las propiedades de las llamadas *relaciones de equivalencia* (o igualdades generalizadas) como, por ejemplo, la *equipolencia* (igualdad de módulos, direcciones y sentidos) entre vectores del espacio euclídeo. De hecho se hace difícil establecer la diferencia nítida, en matemáticas, en otras ciencias y en la propia vida cotidiana, entre una igualdad que sea una pura identidad y una igualdad que sea una equivalencia. Por ejemplo, para un estudioso de la geometría o la mecánica dos vectores equipolentes son iguales en muchas aplicaciones y no lo son en otras. En realidad llamamos muchas veces iguales a elementos $x$ e $y$ que son equivalentes según una cierta ley o criterio y escribimos simplemente $x = y$.

Se tiene, pues, un primer significado de la palabra *identidad* como igualdad en el sentido fuerte que se da a la misma cuando se dice que "A es igual a A". Pero tiene otros varios; por ejemplo se llama *aplicación* (o *función*) *idéntica* o, simplemente *identidad*, a la que transforma un conjunto en sí mismo de tal forma que para todo elemento $f(x) = x$. Sin embargo el uso que, en Algebra y Análisis, es más frecuente, para el término *identidad* es el de una igualdad que incluye en uno o ambos miembros elementos variables y tal que se cumple para cualesquiera valores que tomen dichas variables. Por ejemplo es una identidad la siguiente:

$$(x + y)^2 = x^2 + 2xy + y^2 \quad \forall x,y \in \mathbb{R}$$

que, a veces, se escribe

$$(x + y)^2 \equiv x^2 + 2xy + y^2 \quad x,y \in \mathbb{R}$$

(en la que el signo formado por tres guiones paralelos se lee "idénticamente igual a").

**Ecuaciones** Una *ecuación* es, por el contrario, una igualdad que incluye en uno o ambos miembros variables indeterminadas y tal que sólo se cumple cuando éstas toman determinados valores particulares. Por ejemplo es una ecuación la siguiente igualdad:

$$x^2 - 1 = 0 \quad x \in \mathbb{R}$$

ya que sólo si se pone $x = 1$ ó $x = -1$ se verifica la igualdad. Se suele denominar a la variable indeterminada *incógnita* y a los valores particulares de la misma que satisfacen la ecuación (es decir, que cumplen la igualdad) se les llama *soluciones* o, en algunos casos, *raíces*.

Una ecuación puede no tener soluciones, tener solución única, tener varias o, incluso, infinitas. Por ejemplo la ecuación antes citada tenía dos soluciones, mientras que

$$x^2 + 1 = 0$$

no tiene ninguna (si $x$ sólo puede tomar valores reales), o las dos siguientes:

$$e^x = 1 \qquad \text{sen}\, x = 0$$

tienen, respectivamente, una solución ($x = 0$) o infinitas ($x = n\pi$, con $n = 0, \pm 1, \pm 2, ...$).

En todo caso, lo que caracteriza a una igualdad entre elementos variables como ecuación, incluso en el caso de que tuviera infinitas soluciones, es que no se cumpla para todos los valores posibles, porque, entonces, se trataría de una identidad. Conviene, por otra parte, indicar claramente el conjunto en que toma valores la incógnita ya que ecuaciones con el mismo aspecto formal pueden tener, en un caso u otro, resultados diferentes. Por ejemplo se ha dicho antes que la ecuación

$$x^2 + 1 = 0$$

no tenía soluciones cuando $x$ era real pero, evidentemente, tiene dos, $x = +i$ y $x = -i$ (llamando i a la unidad imaginaria $\sqrt{-1}$) si se le permite tomar valores complejos.

**Clases de ecuaciones** Las ecuaciones se diferencian, fundamentalmente, según dos criterios: los conjuntos a los que pertenecen los términos constantes y, sobre todo, las incógnitas que intervienen en las mismas y, en segundo término, el tipo de operaciones a que está sometida la incógnita.

Por ejemplo si la incógnita y los términos constantes con números reales o complejos se tienen los casos clásicos de las ecuaciones numéricas algebraicas o trascendentes. Las primeras son las que resultan de igualar un polinomio en $x$ (con coeficientes reales o complejos) a cero, las segundas cuando en vez de un polinomio se trata de una función trascendente. El tipo más general de ecuación algebraica tiene la forma:

$$a_0x^n + a_1x^{n-1} + \cdots + a_{n-1}x + a_n = 0$$

Precisamente para estas ecuaciones Gauss (1777-1855) probó el llamado "Teorema fundamental del Algebra" en 1799, que asegura que tienen al menos una solución compleja (real o imaginaria). Inmediata consecuencia de tal teorema de Gauss es otro (a veces también llamado "fundamental del Algebra") que permite descomponer el polinomio en n factores del tipo $(x - \alpha)$, con $\alpha$ complejo y, por tanto, garantizar que tiene $n$ raíces que pueden, sin embargo, ser iguales. Es curioso que el teorema de Gauss no haya podido ser probado por métodos algebraicos y que tenga que apoyarse en técnicas que, de un modo u otro, incluyen conceptos topológicos.

Un caso interesante, con larga resonancia histórica, se presenta cuando se trata de ecuaciones en dos o más variables enteras sometidas a operaciones algebrai-



Justo Barboza

Karl Friedrich Gauss (1777-1855) fue uno de los más geniales científicos de la historia (sus parangones hay que buscarlos en Arquímedes, Newton o Einstein). Fue astrónomo, físico y matemático excepcional. Sus contribuciones matemáticas son fundamentales en Algebra, Teoría de Números, Geometría diferencial, Geometrías no euclídeas (aunque no se atrevió a publicar sus trabajos) y en Análisis y Física Matemática. Se le atribuye la calificación de "Reina de las Ciencias" para la Matemática y a él se le ha llamado el "Príncipe de los matemáticos". En su tesis doctoral de 1799 en Göttingen (en donde luego sería director del Observatorio astronómico y profesor de matemáticas) demostraba el "Teorema fundamental del Algebra" y enunciaba de pasada la imposibilidad de resolver por radicales las ecuaciones de valor superior al quinto.

cas; éstas se denominan *ecuaciones diofánticas*.

Las cosas pueden complicarse de muchos modos; por ejemplo cuando se tienen varias variables y varias ecuaciones. Se trata entonces no de una ecuación sino de un *sistema de ecuaciones*. Cuando las variables son reales o complejas y las operaciones lineales se dice que se trata de un *sistema de ecuaciones lineales*.

Sin embargo la complicación más interesante es la de que las incógnitas no sean números sino otro tipo de elementos más o menos complicados: vectores, matrices, funciones, etc. Se pueden plantear, entonces, muchos problemas paralelos a los que se presentan en el caso numérico o cuestiones nuevas. Tal es el caso de las *ecuaciones funcionales* en las que las incógnitas son funciones sometidas normalmente a las operaciones propias del Análisis. Así se tienen las *ecuaciones diferenciales* o *integrales* en las que la función incógnita aparece sometida a la derivación o a la integración respectivamente; o casos más complicados, por ejemplo *ecuaciones integrodiferenciales* cuando la función incógnita aparece sometida a ambas operaciones.



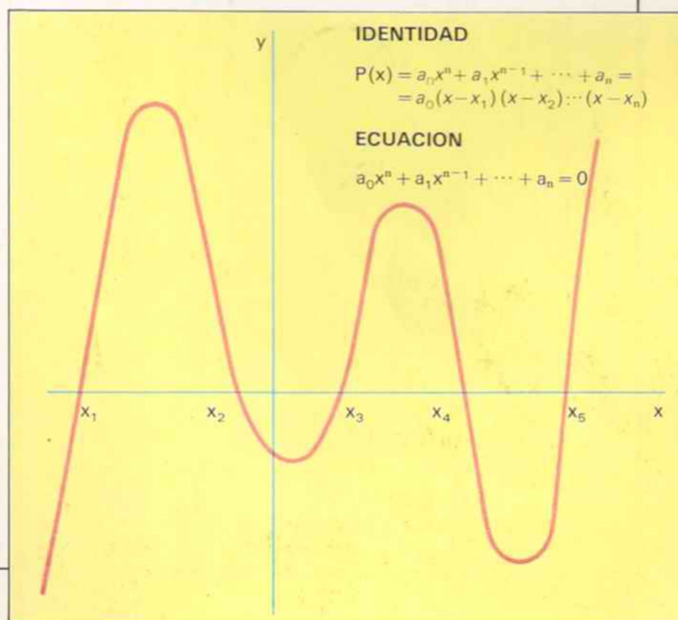

Niels Henrik Abel (1802-1829) fue un matemático noruego que, como Galois, con quien tiene ciertos paralelismos y junto con el cual inicia el nuevo enfoque del Algebra, tuvo una vida corta pero fructífera. Sus aportaciones al Análisis fueron de gran importancia (teoría de series, integrales, etc.). Sin embargo, aquí conviene destacar que en 1824 Abel demostró que los éxitos que, a lo largo de la historia, supusieron las soluciones de las ecuaciones de 2.°, 3.° y 4.° grados no podían continuarse. Las ecuaciones quínticas y de orden superior son irresolubles, en general, por fórmulas radicales. Este descubrimiento genial ya había sido, sin embargo, apuntado por Gauss en 1799.

**Del Algebra al Análisis General** El concepto de ecuación, su desarrollo y aplicaciones es un capítulo importante de la historia de la Matemática. En Grecia no se pasa de las ecuaciones diofánticas; los babilonios, indios y egipcios hacen sus ensayos algebraicos, más como ampliaciones un tanto empíricas de sus reglas de resolución de problemas aritméticos que como técnicas autónomas. En la Edad Media, primero los árabes —recuérdese al padre del Algebra y los algoritmos Mohamed ben Musa, llamado Al-Joarizmi en pleno siglo IX— y más tarde los cristianos, van desarrollando una teoría y una práctica de las ecuaciones algebraicas. Fibonacci, Viéte, Cardan, Tartaglia y otros muchos con nuevas técnicas algorítmicas, con nuevas notaciones y con nuevos resultados van sentando el Algebra como teoría y práctica de las ecuaciones (se entiende *algebraicas entre números*). Los resultados sobre las ecuaciones cuadráticas, cúbicas o cuárticas son grandes hitos en la historia matemática; pero más lo es el resultado de Gauss a que se ha hecho referencia anteriormente o, más aún, el extraordinario resultado del genial y precoz matemático noruego Niels Henrik Abel (1802-1829) demostrando en 1824 la imposibilidad de obtener, en general, la solución de las ecuaciones de orden igual o superior a cinco en forma de expresiones radicales de los coeficientes.

A partir del siglo XIX el Algebra se transforma dejando de ser exclusivamente teoría de ecuaciones para pasar a serlo de las estructuras operativas. Y, por otra parte, el enorme desarrollo de la matemática pura y aplicada, iniciado en los dos siglos anteriores, provoca una gran expansión del tema de las ecuaciones: estas se refieren a elementos cualesquiera (números reales o complejos, vectores, matrices, funciones, transformaciones, etc.) sometidas a operaciones no sólo algebraicas sino analíticas y, consiguientemente, convirtiéndose en el objeto preferente del Análisis.

Hoy los más interesantes problemas sobre ecuaciones se dan en el campo del Análisis general; las incógnitas son funciones u operadores en espacios abstractos y, para su solución, junto con los viejos métodos algebraicos —eso sí, con el nuevo rostro y absoluta generalidad que les da el Algebra Moderna— se utilizan otros procedentes de la Topología y del Análisis. Por otra parte, en la resolución práctica de las ecuaciones las viejas reglas del Algebra y, también los más rudimentarios como los más sofisticados métodos de obtención exacta o aproximada de raíces, han quedado obsoletos ante los nuevos algoritmos proporcionados por el Cálculo numérico y la facilidad para su ejecución que aportan los modernos ordenadores. Dichas *comodidades* —no exentas de complejidad, trabajo y dificultades— son, no sólo aplicables a las clásicas ecuaciones numéricas, sino a las propias ecuaciones funcionales, cuando —naturalmente— se ha *sustituido* la función incógnita por la correspondiente tabla de valores.

Véase **Algebra; Cálculo numérico; Ecuaciones diferenciales; Ecuaciones en diferencias finitas; Ecuaciones y Sistemas Lineales; Relación, correspondencia y aplicación; Relaciones de equivalencia**




En la figura se muestra claramente la diferencia entre una ecuación y una identidad.

$$a_0(x-x_1)(x-x_2)\cdots(x-x_n) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \cdots + a_n$$

es una igualdad que, dados $a_0, a_1, ..., a_n$ y $x_1, x_2, ..., x_n$, todos constantes y cumpliendo ciertas relaciones entre ellos, se verifica para todo $x$. Por el contrario,

$$a_0x^n + a_1x^{n-1} + \cdots + a_n = 0$$

sólo se cumple para

$$x = x_1, ..., x = x_n.$$

Precisamente la curva de la figura representa el polinomio, mientras que sus intersecciones con $y=0$ dan los puntos de abscisas $x_1, x_2, ..., x_n$.

# Ecuaciones en diferencias finitas

La sucesión de Fibonacci es tal que sus dos primeros términos son iguales a la unidad y cada uno de los siguientes vale la suma de los dos anteriores al mismo; es decir, que los términos iniciales son:

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, \ldots$$

y el n-ésimo cumple: $f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$. ¿Es posible hallar la expresión general explícita de $f_n$? La respuesta es afirmativa; para ello obsérvese que la sucesión está dada por una ley de recurrencia

$$f_n - f_{n-1} - f_{n-2} = 0$$

y que es fácil encontrar soluciones de la misma de la forma $f_n = C\alpha^n$, con C constante arbitraria y $\alpha$ un número a determinar. Dicho $\alpha$ deberá ser tal que, al sustituir en la ley de recurrencia, se cumpla

$$C\alpha^n - C\alpha^{n-1} - C\alpha^{n-2} = 0$$

o, simplificando

$$\alpha^2 - \alpha - 1 = 0$$

ecuación algebraica (llamada *característica* de la ley recurrente) que tiene las dos raíces:

$$\alpha_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2} \qquad \alpha_2 = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$$

Se tiene, pues, que $C_1\alpha_1^n$ y $C_2\alpha_2^n$ son soluciones de la ecuación de recurrencia y, por la forma lineal de ésta, también lo será su suma; es decir que una expresión posible para $f_n$ será:

$$f_n = C_1\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n + C_2\left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^n$$

Sólo queda ver si existen valores particulares de $C_1$ y $C_2$ que hagan que la anterior expresión de $f_n$ sea verdaderamente el término general de la sucesión de Fibonacci. Para ello puede sustituirse en los dos primeros valores correspondientes a n = 1 y n = 2. Se tiene entonces:

$$C_1\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right) + C_2\left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right) = 1$$

$$C_1\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^2 + C_2\left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^2 = 1$$

que, resuelto, da

$$C_1 = \frac{1}{\sqrt{5}} \quad \text{y} \quad C_2 = -\frac{1}{\sqrt{5}}$$

y, por consiguiente:

$$f_n = \frac{1}{\sqrt{5}}\left[\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^n\right]$$

expresión que, curiosamente, incluye la llamada *razón áurea*

$$\frac{1+\sqrt{5}}{2} \simeq 1{,}61803\ldots$$

La sucesión de Fibonacci, como solución, y su correspondiente ecuación recurrente constituyen uno de los más sencillos ejemplos de lo que se suele denominar *ecuaciones en diferencias finitas*. Estas pueden aparecer, refiriéndose a sucesiones o a funciones de variable real o compleja más generales, en numerosos problemas técnicos, científicos o puramente matemáticos.

En cierto modo el problema de resolver ecuaciones en diferencias finitas es el contrario del *algoritmo de diferencias* (o *diferencias finitas*), de un modo análogo a como la solución de una ecuación diferencial consiste en hallar la función original correspondiente a las derivadas que cumplen la citada ecuación.

**Diferencias finitas** Si se tiene una sucesión finita o infinita de números reales o complejos:

$$u_0, u_1, u_2, \ldots, u_n, u_{n+1}, \ldots$$

se llaman diferencias de primer orden de la sucesión a las siguientes:

$$u_1 - u_0, u_2 - u_1, \ldots, u_{n+1} - u_n$$

que se denotan $\Delta u_n = u_{n+1} - u_n$.

De modo inmediato podría reiterarse el proceso y calcular diferencias de segundo orden:

$$\Delta^2 u_n = \Delta u_{n+1} - \Delta u_n = u_{n+2} - 2u_{n+1} - u_n$$

o, más general, de orden k:

$$\Delta^k u_n = \Delta^{k-1} u_{n+1} - \Delta^{k-1} u_n = \sum_{p=0}^{k} (-1)^p \binom{k}{p} u_{n+k-p}$$

expresión que se puede probar fácilmente por inducción.

Naturalmente, dadas las diferencias de un orden cabe reconstruir las de orden inferior a partir de una de ellas conocida y por, reiteración, la propia sucesión; así se tiene:

$$u_n = \sum_{p=0}^{k} \binom{k}{p} \Delta^p u_{n-k}$$

o, en particular:

$$u_n = \sum_{p=0}^{n} \binom{n}{p} \Delta^p u_0$$

(para tener un efecto de simetría en las anteriores fórmulas se ha hecho $\Delta^0 u_n = u_n$).

Como es lógico a veces $u_0, u_1, \ldots, u_n, \ldots$ son los valores $f(x), f(x+h), \ldots, f(x+nh), \ldots$, siendo f una función que toma valores para todo x real o complejo (y no, como $u_n$, sólo para valores naturales). Por otra parte, si se tiene una sucesión —o una función— dependiente de dos índices —o variables— cabe, perfectamente, tomar sólo diferencias respecto a uno de ellos; se dice entonces que son diferencias parciales.

Cabe considerar $\Delta$ como un operador que transforma una sucesión en la de sus diferencias primeras y $\Delta^p$ su potencia *p-ésima*; entonces las fórmulas anteriores resultan más sencillas y casi evidentes.

**Ecuaciones en diferencias finitas** Una ecuación funcional, relativa a una incógnita que sea una sucesión (función que toma valores sólo en $\mathbb{N}$) o a una función de variable real o compleja, se dice que es en *diferencias finitas* si la misma es tal que:

a) Es una relación entre diferentes valores de la sucesión (o de los valores que toma a intervalos la función); o

b) Es una relación entre las diferencias finitas de la sucesión o función.

En el primer caso se tendrá:

$$\varphi(u_{n+r}, u_{n+r-1}, \ldots, u_n, n) = 0$$

y en el segundo:

$$\phi(\Delta^r u_n, \Delta^{r-1} u_n, \ldots, \Delta^0 u_n, n) = 0$$

Dadas las relaciones entre diferencias y valores ambas formulaciones son equivalentes y suele preferirse la primera.

El orden r de la diferencia que lo tiene mayor entre las que figuran en la ecuación es el *orden* de la ecuación. Cuando la diferencia de orden más alto (o el valor de mayor subíndice) está despejada se dice que la ecuación está en forma *normal*.

Cabe considerar, también, *sistemas de ecuaciones en diferencias* y, por otra parte, *ecuaciones en diferencias parciales*. Es interesante observar la relación entre ecuaciones de orden r y sistemas de r ecuaciones de primer orden; en efecto: sea la ecuación de orden r:

$$\varphi(f(n+r), f(n+r-1), \ldots, f(n), n) = 0$$

(en la que se ha sustituido la notación $u_n$ por la f(n) más cómoda para el caso) y hagamos el cambio:

$$f(n) = f_1(n),\ f(n+1) = f_2(n),\ \ldots,\ f(n+r-1) = f_r(n)$$

entonces se transforma en el sistema

$$\begin{aligned} &f_1(n+1) = f_2(n) \\ &f_2(n+1) = f_3(n) \\ &\cdots\cdots\cdots \\ &f_{r-1}(n+1) = f_r(n) \\ &\varphi(f_r(n+1), f_r(n), \ldots, f_1(n), n) = 0 \end{aligned}$$

de n ecuaciones en diferencias de primer orden, ya que entran los valores de

$$(f_1(n), \ldots, f_r(n)) \text{ y } (f_1(n+1), \ldots, f_r(n+1)).$$

Por otra parte los sistemas pueden considerarse como ecuaciones en el vector de componentes.

Respecto a las ecuaciones en diferencias caben problemas análogos a los correspondientes en las ecuaciones diferenciales: hallar la solución general, que incluirá constantes o, en su caso, funciones periódicas, o hallar soluciones particulares que cumplan ciertas condiciones ini-

| Mes | ARBOL GENEALOGICO | Fin del mes n | N.º de conejos $u_n$ |
|---|---|---|---|
| 1.º | | n = 1 | $u_1 = 1$ |
| 2.º | | n = 2 | $u_2 = 1$ |
| 3.º | | n = 3 | $u_3 = 2$ |
| 4.º | | n = 4 | $u_4 = 3$ |
| 5.º | | n = 5 | $u_5 = 5$ |
| 6.º | | n = 6 | $u_6 = 8$ |

Leonardo de Pisa (*ca* 1175-*ca* 1250), llamado Fibonacci, en su libro de 1202, *Liber Abaci* ("Libro de los Abacos", que trata del algoritmo decimal) propuso el siguiente problema: se encierra en un cercado un par de conejos que, cada mes a partir del segundo, tiene un par de hijos (macho y hembra), que tienen idéntico comportamiento; ¿cómo evoluciona el número total de parejas de conejos? (en el supuesto de que ninguno muera). Inmediatamente se obtiene la sucesión: 1, 1, 2, 3, 5, 8, ... en la que cada término es igual a la suma de los dos anteriores. Un matemático francés, Lucas (1842-1891), estudió la sucesión y la generalizó.

ciales, como se ha visto en el ejemplo de la sucesión de Fibonacci. Cabe, también, investigar, sin entrar en la forma de las soluciones, si las ecuaciones tienen o no solución o si la correspondiente a una condición es única (es decir: establecer "teoremas de existencia y unicidad") o determinar propiedades "cualitativas" (estabilidad, etc.). En buena medida la teoría y la práctica discurren con un cierto paralelismo respecto a la de ecuaciones diferenciales.

**Ecuaciones en diferencias lineales** El caso más sencillo, y bastante frecuente en las aplicaciones, de ecuación en diferencias finitas es el de las lineales del tipo:

$$a_0(n)u_{n+r} + a_1(n)u_{n+r-1}, \ +...+ a_r(n)u_n = b(n)$$

entre las que se distinguen las homogéneas cuando b(n) es nulo y las no homogéneas o completas cuando no lo es. Para dichas ecuaciones pueden demostrarse varios teoremas importantes. Por ejemplo que: la solución general de la ecuación homogénea puede ponerse como $C_1u_n^{(1)} +...+ C_ru_n^{(r)}$ donde $u_n^{(1)}, ..., u_n^{(r)}$ son r soluciones particulares de la homogénea linealmente independientes y las $C_i$ constantes, y que la de la completa se obtiene sumándole una particular cualquiera correspondiente a la ecuación con segundo término.

Cuando los coeficientes son constantes la ecuación homogénea se puede resolver fácilmente. En efecto se suponen soluciones del tipo $u_n = C\alpha^n$ y, fácilmente se llega a que $\alpha$ debe ser raíz de la llamada *ecuación característica*:

$$a_0\alpha^r + a_1\alpha^{r-1} +...+ a_r = 0$$

Como el polinomio tiene r raíces reales o complejas, $\alpha_1, ..., \alpha_r$, se tienen las soluciones que se buscan cuando las raíces son distintas en la forma $u_n^{(1)} = \alpha_1^n, ..., u_n^{(r)} = \alpha_r^n$. Cuando los coeficientes son reales y se quiere la solución en forma real es fácil agrupar cada par de soluciones imaginarias conjugadas ($\alpha_i, \bar{\alpha}_i$) y obtener dos reales $\rho_i^n \cos n\theta_i$ y $\rho_i^n \operatorname{sen} n\theta_i$ si $\rho_i$ es el módulo y $\theta_i$ el argumento de la raíz compleja $\alpha_i$. Si hay raíces múltiples puede probarse fácilmente que $\alpha_i$ múltiple de orden k da origen a las soluciones $\alpha_i^n, n\alpha_i^n, ..., n^{k-1}\alpha_i^n$.

Análogamente pueden obtenerse resultados sencillos para los sistemas lineales. Sea, por ejemplo, el sistema lineal homogéneo de primer orden con coeficientes constantes en forma normal siguiente

$$v(n) = Av(n-1)$$

donde v(n) es el vector columna de componentes $v_1(n), ..., v_r(n)$ y A una matriz constante. Es inmediato que la solución general es $v(n) = A^nC$ donde C es una matriz cuadrada constante de orden r.

Cuando, en vez de una sucesión (función que toma valores en los naturales), se trata de una función de variable real o compleja en general, se tiene que $u_n = f(z)$ y $u_{n+r} = f(z + rh)$, entonces, los anteriores resultados son válidos pero la variable *n* debe sustituirse por la *z* y las constantes por funciones periódicas de período *h*; es decir $C_i = C_i(z)$ tal que $C_i(z + h) = C_i(z)$ para todo z.

**Nota final** Las ecuaciones en diferencias finitas resultan de gran aplicación en numerosos capítulos de la matemática (sucesiones, progresiones, desarrollos en serie de funciones racionales, ecuaciones funcionales etc.) y aparecen, también, en aplicaciones técnicas (circuitos eléctricos, sistemas de control muestreados, estructuras mecánicas, etc.). Un campo de especial interés práctico se da en Economía. Ello se debe a que muchos procesos económicos no se adaptan bien, sea por la naturaleza discreta de la variable o por otras razones, a ser modelizados con ecuaciones diferenciales y sí a serlo mediante ecuaciones de este tipo. Piénsese, por ejemplo, que las magnitudes macroeconómicas se dan anualmente y, cuando se quiere estudiar su desarrollo, lo normal es que las correspondientes al año *n* se consideren funciones de las de los años *n-1*, *n-2*, etc. y, por tanto, se planteen ecuaciones en diferencias.

Otro campo de aplicación es el de la integración numérica de ecuaciones diferenciales. De un modo intuitivo y simple, se comprende fácilmente que se sustituyan las derivadas por los cocientes incrementales $\Delta f/h$ y se aproxime así la ecuación diferencial por una en diferencias finitas. El Cálculo numérico ha desarrollado, al respecto, algoritmos más o menos sofisticados, según los problemas de que se trate y el nivel de aproximación que se desee, que pueden a su vez ser puestos en práctica en ordenador.

Véase **Cálculo numérico; Ecuaciones diferenciales**

# Ecuaciones y sistemas lineales

En numerosas cuestiones matemáticas y de la vida ordinaria se plantea el siguiente problema elemental: encontrar un número desconocido sabiendo el resultado de multiplicarle primero por uno dado y distinto de cero y, a continuación, sumar al producto otro número conocido. Es evidente que tal problema puede resolverse con técnicas aritméticas triviales, sin embargo desde hace siglos —y en diferentes culturas— es usual plantearle de modo algebraico. Basta llamar al número incógnita $x$ y $a \neq 0$, $b_1$ y $b_2$ a los tres datos —el que le multiplica, el que se suma a continuación y el resultado final— para poder escribir la ecuación $ax + b_1 = b_2$, denominada *lineal* (o de primer grado), que puede reducirse inmediatamente, a la forma canónica $ax + b = 0$, sin más que poner $b = b_1 - b_2$. En los cursos escolares se tratan ecuaciones, en apariencia más generales, del tipo:

$$\sum_{i=1}^{m} h_i(a_i z + b_i) = \sum_{j=1}^{n} k_j(p_j x + q_j)$$

que, sin embargo, también puede reducirse a la forma canónica $ax + b = 0$ haciendo

$$a = \sum_{i=1}^{m} h_i a_i - \sum_{j=1}^{n} k_j p_j \qquad b = \sum_{i=1}^{m} h_i b_i - \sum_{j=1}^{n} k_j q_j$$

La denominación de *lineal* procede de que $y = ax + b$ representa una línea recta, si $x$ e $y$ son las coordenadas de un punto variable del plano respecto a un sistema cartesiano, con lo que $ax + b = 0$ tiene una solución dada por la abscisa del punto en que se cortan la recta dada y la $y = 0$.

Como es obvio la ecuación lineal tiene una solución única $x = (-b)/a$, siempre posible, sean cuales fueren $b$ y $a \neq 0$. Tal ecuación y solución son válidas cuando sus coeficientes e incógnitas son racionales, reales o complejos.

La posible generalización de la anterior ecuación lineal puede seguir dos vías: una sería su planteamiento en conjuntos distintos de $\mathbb{Q}$, $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$; otra sería pasar de la consideración de una sola ecuación a la de varias simultáneas: se tendría entonces lo que se llama un *sistema de ecuaciones lineales*. El más simple consistirá en el formado por dos ecuaciones del modo siguiente:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = b_1 \qquad a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = b_2$$

(como en el caso de una ecuación es posible plantearse sistemas en apariencia más generales pero, de hecho, reducibles al anterior).

La interpretación geométrica sería ahora la de que cada una de las ecuaciones representa una recta del plano y la solución, si existe, vendría dada por las coordenadas del punto de intersección. Dicha interpretación sugiere un método de resolución gráfica (el de dibujar las dos rectas y observar la intersección).

Desde antiguo se ha sabido resolver tal sistema. El Algebra elemental habla de tres métodos de resolución: los llamados de *sustitución*, *igualación* y *reducción*. Consisten respectivamente en los tres siguientes algoritmos:

1) Se despeja en la primera ecuación una variable, cuyo coeficiente sea diferente de cero, se sustituye en la segunda y, a continuación, se resuelve la ecuación resultante.

2) Se despeja la misma variable en las dos ecuaciones y se igualan los resultados, resolviéndose luego la ecuación que se obtiene.

3) Se multiplican los términos de cada ecuación por números apropiados para conseguir que los coeficientes de una de las variables tengan iguales valores y signos contrarios en cada una de las ecuaciones; a continuación se suman término a término las mismas, obteniéndose una que carece de la variable correspondiente y que ha de resolverse finalmente.

En todos los casos se obtiene, naturalmente, la misma solución:

$$x_1 = \frac{a_{22}b_1 - a_{12}b_2}{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}} \qquad x_2 = \frac{a_{11}b_2 - a_{21}b_1}{a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}}$$

Este resultado, que en su momento fue un descubrimiento importante, puede ponerse utilizando determinantes del siguiente modo

$$x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} \qquad x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}$$

siendo

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} \\ b_2 & a_{22} \end{vmatrix} \qquad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 \\ a_{21} & b_2 \end{vmatrix} \qquad \Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}$$

Precisamente Leibniz en 1693 introdujo el concepto de determinante en conexión con este problema. Resulta, al respecto, de interés señalar que, probablemente, la anterior regla de solución (de modo más o menos empírico) fue conocida ya por los chinos hace 3.000 años y que, en cualquier caso, era utilizada con determinantes por el japonés Seki Kowa (1642-1708) diez años antes que por Leibniz.

**Sistemas lineales generales** Si se tiene un sistema de $m$ ecuaciones lineales entre $n$ ecuaciones ($m$ y $n$ enteros iguales o mayores que 1) cuyos coeficientes, e incógnitas pertenecen a $\mathbb{Q}$, $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$, de la forma

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n = b_m$$

se plantean tres cuestiones: saber si existen o no soluciones del sistema; en caso afirmativo, saber si la solución es única; y, por último, calcular las posibles soluciones. Al respecto se dice que un sistema es *compatible* si tiene soluciones; que es *determinado* si, teniendo solución, ésta es única. Se utiliza el calificativo de *incompatible* para un sistema que no tiene solución y el de *indeterminado* para uno compatible con infinitas soluciones.

Un teorema (llamado de Rouché-Fröbenius en los textos de Algebra clásica) resuelve las dos primeras cuestiones; su enunciado es el siguiente: "Dado el sistema se forman la matriz de los coeficientes y la misma ampliada por los términos independientes

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} \\ a_{m1} & a_{m2} & \ldots & a_{mn} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1n} & b_1 \\ \cdots & & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & \ldots & a_{mn} & b_m \end{bmatrix}$$

Si la característica de ambas matrices es un mismo número k (obviamente $k \leqslant n$) el sistema es compatible; si no, es incompatible. En caso afirmativo, si, además, $k = n$, el sistema es determinado o de solución única; si $k < n$ el sistema es indeterminado o de infinitas soluciones" (se recuerda que la *característica* o *rango* de una matriz es el orden del determinante no nulo que lo tenga mayor entre los que se pueden formar con las filas y columnas de la misma o, también, el número de filas o columnas linealmente independientes).

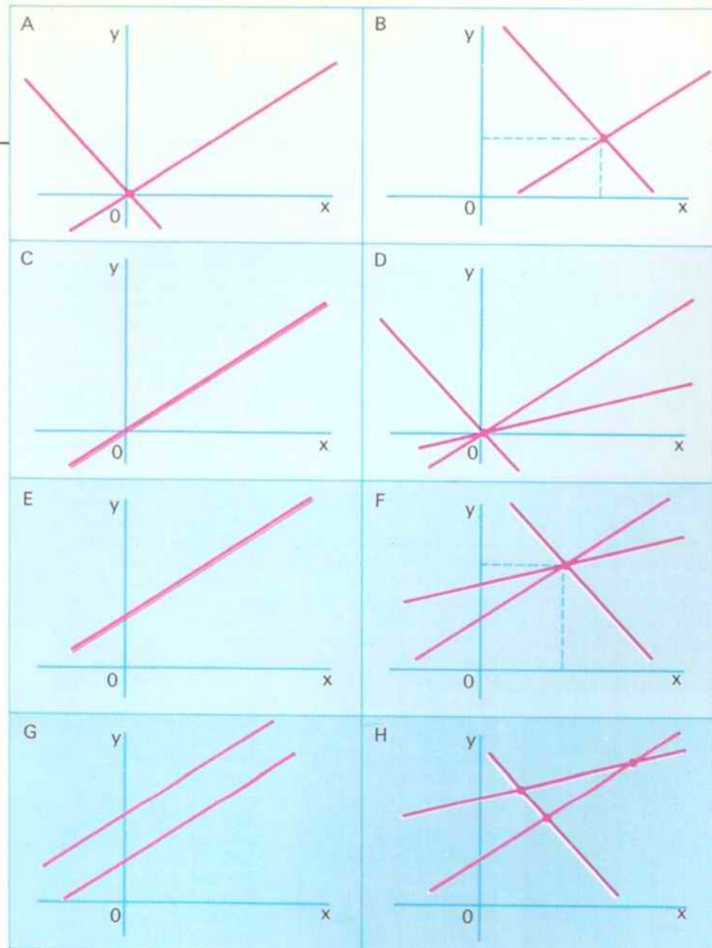
La solución en el caso de que el sistema sea compatible y determinado se resuelve por la llamada regla de Cramer, que consiste en lo siguiente: "Si se tiene un sistema de $n$ ecuaciones lineales con $n$ incógnitas y la característica de la matriz de los coeficientes (y, por consiguiente, la ampliada con los términos independientes) es $n$, la solución única vale:

$$x_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \; x_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \ldots, x_n = \frac{\Delta_n}{\Delta}$$

donde $\Delta$ es el determinante de su matriz de los coeficientes y $\Delta_i$ es el determinante que resulta de sustituir en $\Delta$ la columna i-ésima por la que forman los términos independientes $b_1, \ldots, b_n$."

Cabe señalar, por otra parte, que si $m > n$ es que o $m - n$ ecuaciones son superfluas (por ser repeticiones de las $n$ o combinaciones lineales de ellas) o bien son contradictorias y hacen el sistema incompatible. Si, por el contrario, $k < n$ es que faltan ecuaciones para determinar la solución y ésta queda indeterminada; se pueden despejar entonces k incógnitas en función de las $n - k$ restantes, que pueden tomar valores arbitrarios; para ello puede usarse la propia regla de Cramer.

En otro orden de ideas debe notarse que se ha supuesto que los $b_i$ no eran todos nulos (es el caso de los sistemas *completos* o *no homogéneos*). Por el contrario los sistemas con $b_1 = b_2 = \ldots = b_m = 0$, llamados *homogéneos*, tienen algunas peculiaridades notables. La primera es que siempre tienen como solución la $x_1 = x_2 = \ldots = x_n = 0$, llamada *nula* o *trivial*, como se comprueba inmediatamente por sustitución. La segunda es que si tienen alguna solución distinta de la trivial deben tener infinitas, ya que lo son también las combinaciones lineales de soluciones. Por ello, a veces, se dice que un sistema homogéneo es *compatible* o que *tiene solución* si admite alguna aparte de la trivial (esta terminología se presta a equívocos pero es útil). La aplicación del teorema de Rouché-Fröbenius al caso indica que un sistema homogéneo de $n$ ecuaciones lineales será compatible (en el sentido antes citado) cuando el determinante de los coeficientes se anule. Este resultado señala una relación notable entre el sistema




Los sistemas lineales con dos incógnitas se pueden representar gráficamente; las ecuaciones como rectas y las soluciones como intersecciones de las mismas. En la imagen se pretende ejemplificar los teoremas básicos. En efecto: en A se representa un sistema homogéneo de dos ecuaciones con solución única trivial y en B el correspondiente no homogéneo con solución única; en C se tiene un sistema homogéneo de dos ecuaciones (dos rectas superpuestas) con infinitas soluciones, y en E y G dos posibles correspondientes no homogéneos (uno indeterminado y otro incompatible); análogamente, en D se tiene un sistema no homogéneo de tres ecuaciones con solución trivial y en F y G dos sistemas correspondientes, uno compatible y determinado y el otro incompatible.

homogéneo y el completo, sobre la que se insistirá más adelante.

Antes de pasar a otras generalizaciones convendría indicar que los resultados anteriores pueden obtenerse, con cierto trabajo, utilizando los resultados de la teoría de determinantes o, mejor, planteando el problema en el marco del Algebra lineal (la que se ocupa de los espacios vectoriales, transformaciones lineales entre ellos, etc.). Por otra parte, convendría avisar a los principiantes que la regla de Cramer es un recurso elegante, brillante y con gran utilidad en las argumentaciones teóricas, pero carente de interés práctico a la hora de obtener resultados numéricos. El enorme volumen de cálculo que supone, para $n$ relativamente pequeño, le hace impracticable (incluso imposible con grandes ordenadores, si $n$ es, como sucede en muchos problemas técnicos y económicos, del orden de las varias decenas o centenas). Por ello el cálculo práctico de soluciones de sistemas lineales, al igual que otros problemas equivalentes (inversión de la matriz de los coeficientes, etc.), debe hacerse recurriendo a los métodos del Análisis Numérico. Algunos son de tipo iterativo; otros, en esencia, reproducen «en grande» los algoritmos comentados antes para los sistemas de dos ecuaciones, etc.

**Ecuaciones lineales vectoriales** Como se ha indicado, el teorema de Rouché-Fröbenius, la regla de Cramer y demás resultados anteriores pueden obtenerse, como se hace en la moderna Algebra Lineal, de modo fácil y sencillo. Para ello basta considerar al sistema escrito matricialmente $Ax=b$ como una ecuación vectorial: $x \in \mathbb{R}^n$ sería el vector columna desconocido, A sería la matriz del operador o aplicación lineal de $\mathbb{R}^m$ en $\mathbb{R}^m$ y $b$ un vector dado de este último espacio. En tal caso, para que la ecuación tenga solución única es necesario y suficiente que A represente un isomorfismo de $\mathbb{R}^n$ en $\mathbb{R}^n$, ya que entonces dado $b$ hay un $x$ y sólo uno tal que es transformado por A en él (lo que se traduce en que A sea cuadrada e invertible); ello conduce inmediatamente al resultado:

$$Ax=b; \qquad x=A^{-1}b$$

Como se prueba en el Algebra Matricial, la invertibilidad de A equivale a la no anulación de su determinante, $\Delta = \det A \neq 0$ y, por otra parte, la expresión de $A^{-1}$ es

$$A^{-1}=\frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix}\alpha_{11}\cdots\alpha_{1n}\\ \cdots\cdots\\ \alpha_{n1}\cdots\alpha_{nn}\end{bmatrix}$$

donde $\alpha_{ij}=A_{ji}$ (determinante adjunto del elemento $a_{ji}$ en A); ello conduce inmediatamente a

$$x_i=\frac{1}{\Delta}(\alpha_{i1}b_1+\ldots+\alpha_{in}b_n)=$$
$$=\frac{1}{\Delta}(b_1A_{1i}+\ldots+b_nA_{ni})=$$
$$=\frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix}a_{11}\cdots a_{1,i-1}\; b_1\; a_{1,i+1}\cdots a_{1n}\\ \cdots\cdots\\ a_{n1}\cdots a_{n,i-1}\; b_n a_{n,i+1}\cdots a_{nn}\end{vmatrix}=\frac{\Delta_i}{\Delta}$$

que es el resultado dado por la regla de Cramer.

Por otra parte si la característica de A es $k<n$ ello quiere decir que el operador transforma el espacio de dimensión $n$ en otro de dimensión $k$ y, por tanto, $Ax=b$ será compatible si $b$ pertenece a él; pero, naturalmente, la solución no será un $x$ único, ya que si se suma a una solución cualquier vector que cumpla $Ax=0$ seguirá siendo solución. Precisamente los vectores que cumplen $Ax=0$ forman un subespacio vectorial (llamado *núcleo* del operador) de dimensión $n-k$, que se reduce al vector nulo cuando $k=n$ y A es un isomorfismo.

Se puede entonces enunciar un teorema, que suele conocerse como "de alternativa", del siguiente modo: "La condición necesaria y suficiente para que $Ax=b$, con $b\neq 0$, tenga solución única es que la ecuación homogénea, $Ax=0$, no tenga otra que la trivial; entonces $x=A^{-1}b$. Si $Ax=0$ tiene solución distinta de la $x=0$ entonces la ecuación completa no tiene solución o, caso de tenerla, no es única (se dará una circunstancia u otra según que $b$ esté o no en el subespacio en que A transforma el de dimensión $n$)."

Como se ve, en realidad, la diferencia entre *ecuación* y *sistema* es sólo relativa y las dos generalizaciones de que se hablaba al principio pueden coincidir.

Ahora se puede imaginar una situación más general: sean E y F dos espacios vectoriales, $x\in E$ es un vector incógnita, A un operador lineal de E en F y $b\in F$ un vector dado. Puede entonces plantearse la ecuación $Ax=b$ (que cabría estimar como *sistema* si se desarrollase componente a componente). Junto a ella cabe considerar el caso homogéneo $Ax=0$.

Cuando E y F son espacios de dimensión finita del tipo $\mathbb{R}^n$ estamos en el caso elemental. Por el contrario si E y F son espacios de dimensión infinita y dotados de una estructura topológica como, por ejemplo, alguno de los clásicos espacios de funciones que se estudian en Análisis, y A un operador lineal cumpliendo ciertas condiciones, la situación es nueva y más complicada. Sin embargo cabe extender, en algunos casos, los resultados del Algebra lineal a las correspondientes ecuaciones. Tal es el método, por ejemplo, para estudiar algunas clases de las ecuaciones integrales lineales.

Lo anterior es, sin embargo, sólo una de las generalizaciones que caben de la ecuación lineal numérica. En efecto $x$ y $b$ se han convertido en vectores de espacios arbitrarios y A en un operador lineal entre ellos. Cabe, también, otra posibilidad. Que $a$, $x$ y $b$ sean los tres elementos de un cuerpo o, al menos, de un anillo arbitrario. Entonces existe solución si y sólo si $a$ es invertible; lo cual sucederá siempre para el caso de que se trata de un cuerpo, y sea $a\neq 0$, y sólo en algunos casos cuando se trate de un anillo. Esta es la situación que se da, por ejemplo, en la ecuación matricial

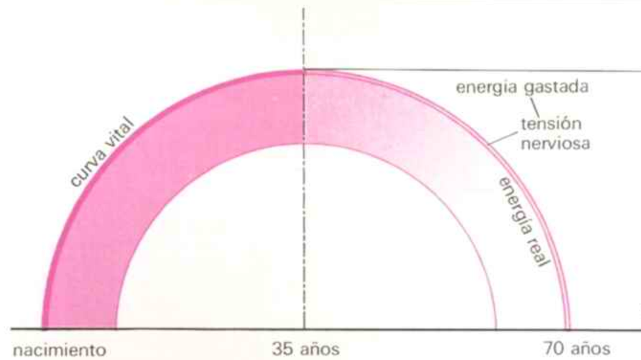
$$AX+B=0$$

siendo A, X y B matrices cuadradas (de componentes en $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$). Cuando A sea invertible tendrá solución que vendrá dada por $X=A^{-1}B$.

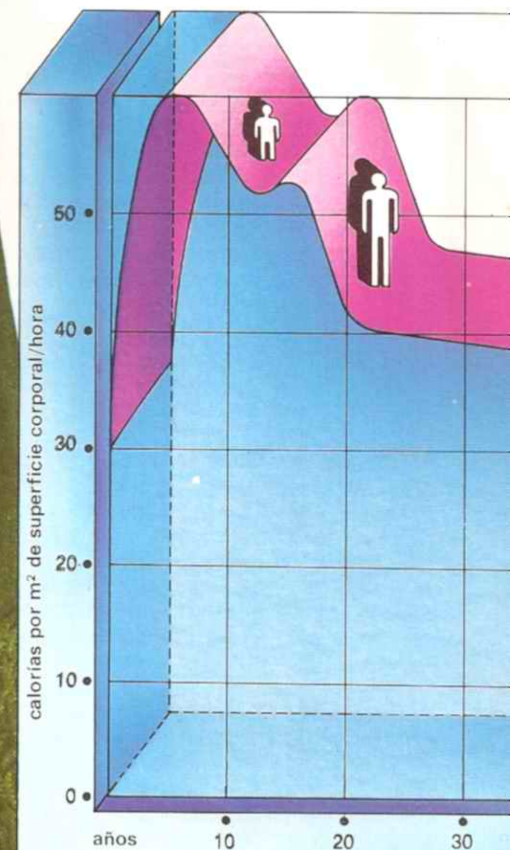
Véase **Algebra; Cálculo numérico; Determinantes; Ecuaciones e identidades; Espacios vectoriales y afines; Grupos, anillos y cuerpos; Matrices.**

# Edad adulta

Cuando aparece el primer bozo en la cara del adolescente varón y su voz adquiere tonos más graves, al tiempo que en la hembra se desarrolla el pecho y empieza a manifestarse el ciclo menstrual, se habla de *pubertad*. Se trata de un período delicado y complejo, en el que tienen lugar importantes transformaciones tanto físicas como mentales. A esta fase del crecimiento del individuo, comprendida entre los 12 y 16 ó 17 años, le sigue la de adulto, más larga, que dura hasta el momento del envejecimiento o senectud. Todas las edades del hombre se caracteri-




En el esquema superior se representa la *curva evolutiva del hombre.* Puede ocurrir que el individuo llegado a los 35 años, en lugar de aceptar que a partir de ese momento sus energías deben sufrir una ligera aunque progresiva regresión, no acepte este ciclo natural, y continúe exigiendo a su organismo el mismo consumo de energía que antes. Entonces se puede crear una tensión entre la energía que gasta y la que realmente puede consumir. De esa tensión nacen muchas de las neurosis y psicosis de la edad madura. Las observaciones que se han hecho hasta el presente se refieren a la etapa que va de los 35 años en adelante, pero el estado adulto comienza mucho antes: desde el punto de vista puramente físico, a partir del momento en que se alcanza la capacidad reproductora; desde un punto de vista jurídico, en gran parte de los Estados modernos, a los 18 años. A esta edad el individuo alcanza el derecho al voto, a casarse, etc. (como se representa en la tabla de la derecha en la página siguiente). Desde un punto de vista más complejo, es decir, desde el punto de vista psicológico y mental, resulta mucho más difícil establecer cuándo se llega a ser adulto, pues está estrechamente relacionado con la "historia" de cada individuo y la realización de su personalidad. La pareja que aparece a la izquierda, sacada de un cuadro de Jan van Eyck en el que se retratan los esposos Arnolfini, puede servir para simbolizar la edad adulta, concebida como la edad de la elección. Una de las etapas que nuestra sociedad considera representativa de este período de la vida es el encuentro afectivo estable, que crea una estructura familiar dentro de la cual aparecerán los hijos.



**NECESIDADES ENERGETICAS DIARIAS**

| edad (años) | varones peso (kg) | varones kcal por kg | varones kcal per cápita | hembras peso (kg) | hembras kcal por kg | hembras kcal per cápita |
|---|---|---|---|---|---|---|
| > de 3 meses | 4,6 | 120 | 552 | 4,5 | 120 | 540 |
| 3-5 meses | 6,7 | 115 | 770 | 6,4 | 115 | 736 |
| 6-8 meses | 8,3 | 110 | 913 | 8,0 | 110 | 880 |
| 9-11 meses | 9,6 | 105 | 1.008 | 9,2 | 105 | 996 |
| 1 | 10,3 | 103 | 1.061 | 9,9 | 106 | 1.049 |
| 2 | 12,6 | 100 | 1.260 | 12,3 | 100 | 1.230 |
| 3 | 14,6 | 100 | 1.460 | 14,3 | 99 | 1.416 |
| 4 | 16,7 | 99 | 1.653 | 16,8 | 96 | 1.613 |
| 5 | 18,9 | 91 | 1.720 | 18,7 | 90 | 1.683 |
| 6 | 21,0 | 87 | 1.827 | 21,1 | 85 | 1.794 |
| 7 | 23,2 | 83 | 1.926 | 23,6 | 80 | 1.888 |
| 8 | 25,6 | 79 | 2.022 | 26,3 | 76 | 1.999 |
| 9 | 28,2 | 76 | 2.143 | 28,9 | 73 | 2.110 |
| 10 | 30,9 | 74 | 2.287 | 32,5 | 68 | 2.210 |
| 11 | 34,1 | 71 | 2.421 | 36,9 | 62 | 2.288 |
| 12 | 38,3 | 67 | 2.566 | 41,9 | 57 | 2.388 |
| 13 | 43,5 | 61 | 2.654 | 46,8 | 52 | 2.434 |
| 14 | 49,6 | 56 | 2.778 | 50,5 | 50 | 2.525 |
| 15 | 54,6 | 53 | 2.894 | 53,2 | 48 | 2.554 |
| 16 | 58,4 | 51 | 2.978 | 54,0 | 45 | 2.430 |
| 17 | 59,6 | 50 | 2.980 | 54,0 | 43 | 2.322 |
| 18 | 61,0 | 49 | 2.989 | 54,0 | 42 | 2.268 |
| 19 | 62,0 | 47 | 2.914 | 54,0 | 40 | 2.160 |
| adulto | 65,0 | 46 | 2.990 | 54,0 | 40 | 2.160 |

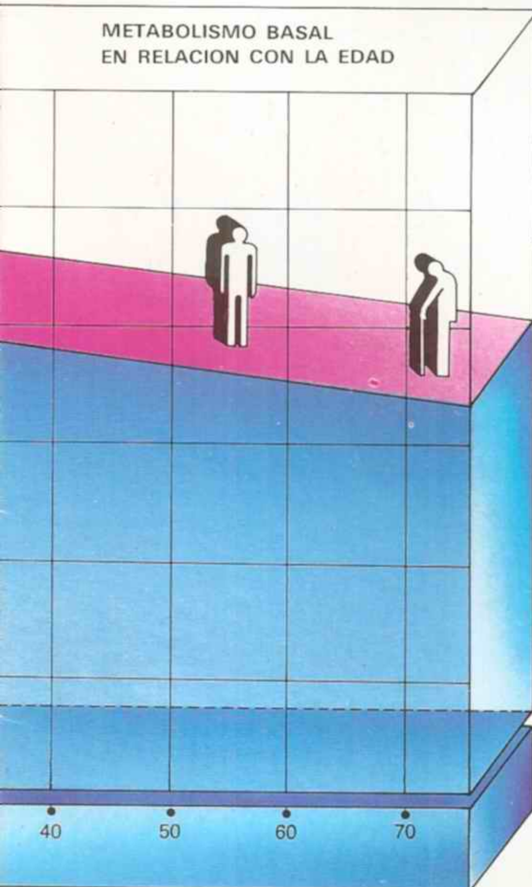
zan por transformaciones profundas, a excepción de la adulta.

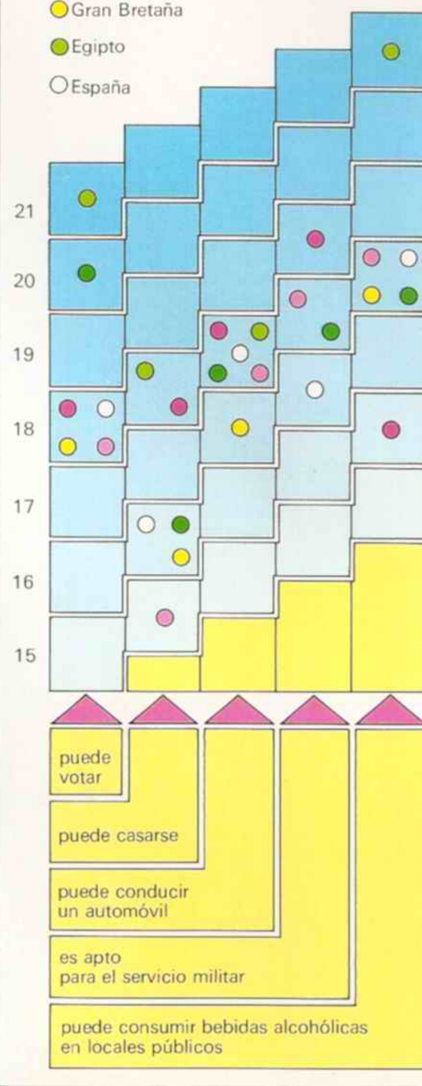
**Transformaciones fisiológicas** Resulta bastante sencillo establecer el paso de la pubertad a la edad adulta: se detiene el crecimiento en estatura, las formas externas del individuo son ya las definitivas y las estructuras internas tampoco experimentarán importantes cambios ulteriores.

El examen radiográfico del desarrollo esquelético proporciona datos precisos sobre la edad del individuo. Los huesos crecen en longitud y espesor hasta los veintiún años, aproximadamente, o sea, cuando el tejido óseo ha alcanzado un equilibrio entre el proceso de demolición y el proceso de reconstitución (fenómeno llamado *remodelación*). Por tanto, durante la vida del individuo el tejido óseo está sometido a continuos cambios: durante la fase de crecimiento la principal actividad es la construcción de un esqueleto definitivo, mientras que en el adulto se instaura el citado equilibrio que mantiene la estatura constante hasta la senectud, durante la cual los fenómenos erosivos predominan sobre los constructivos y el esqueleto se va debilitando poco a poco.

El *desarrollo emocional* va unido al desarrollo físico, aún cuando no siempre en forma acompasada y con una estrecha interdependencia. Es bien sabido que cuando se alcanza la edad adulta los problemas y desequilibrios de las primeras fases de la vida se suelen superar, mientras que al llegar a la vejez "el hombre vuelve a la infancia", es decir, vuelve a mostrar comportamientos regresivos semejantes a los de los niños de corta edad. Pero no conviene basarse únicamente en estos evidentes aspectos psicológicos como parámetros para determinar el grado de madurez de una persona, ya que las funciones mentales son mucho más complejas y difíciles de analizar que las fisiológicas. Las dotes físicas y psicológicas de la edad adulta, además, son definidas de diversas formas en las distintas culturas, ya que dependen del sistema de valores adoptado en cada sociedad. El éxito económico, el porte físico, la audacia sexual, etc., se interpretan, aceptan o rechazan de forma distinta —como elementos típicos del individuo adulto— según las distintas áreas culturales. De todas formas, la edad adulta se puede definir desde un punto de vista estrictamente biológico como la fase de pleno desarrollo de todas las potencialidades fisiológicas, de entre las que destaca como la más evidente la capacidad reproductora. El proceso de maduración sexual, regulado por el sistema neuroendocrino, hace que los organismos accedan a las fase adulta de la vida manteniendo unos niveles especiales de eficacia y equilibrio con respecto al ambiente que rodea al individuo (cualidad denominada *homeostasis*).

Arriba, a la derecha y bajo estas líneas, pueden verse dos tablas que representan, respectivamente, la *necesidad calórica* y el *metabolismo basal* dependiendo de la edad. La necesidad calórica se mantiene estacionaria entre los 20 y los 40 años, y más tarde se reduce aproximadamente en un 30% al llegar a una vejez avanzada. En cuanto al metabolismo basal, también empieza a disminuir muy pronto: de ahí la conveniencia de reducir el suministro de calorías si se quiere mantener la salud y prevenir la obesidad. La pérdida de funcionalidad se reparte de la siguiente forma: de los 30 a los 75 años el peso del cerebro disminuye un 8%; la rapidez de los reflejos, más o menos un 10%; la capacidad de filtración de los riñones, hasta un 31%, y la capacidad máxima de respiración puede disminuir hasta un 67%.



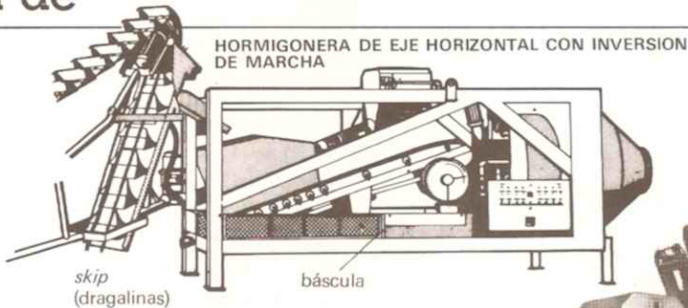



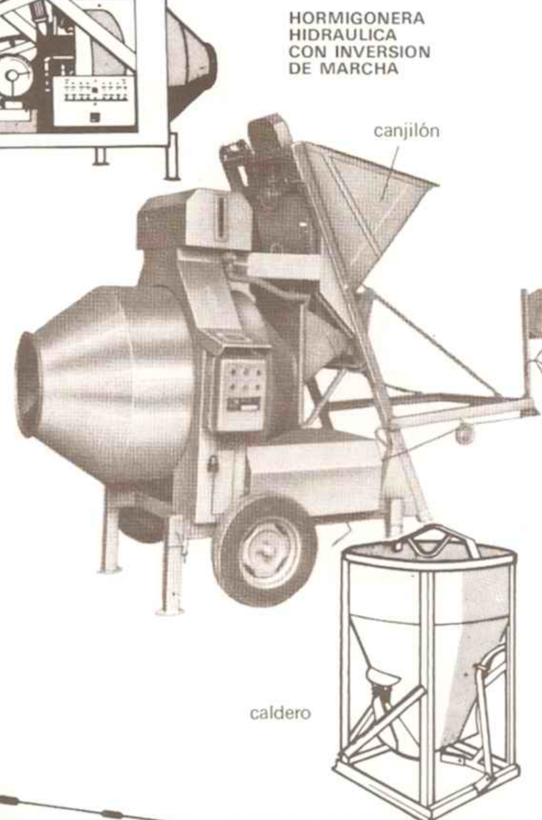

Véase **Adolescencia; Evolución humana; Hembra; Macho**

# Edificios, construcción de

Los orígenes de las modernas técnicas de edificación y de los nuevos materiales se remontan al comienzo de la Revolución Industrial. Los materiales de construcción dominantes hasta entonces (piedra y madera) empiezan a ser sustituidos por el hierro y el acero para columnas y vigas. Aparecen nuevos sistemas constructivos: se toman como bases importantes la estandarización y la prefabricación y se introduce el concepto de estructura de acero como esqueleto del edificio, con revestimiento exterior de paneles de vidrio. Y ya en el siglo XX comienza a comprobarse las grandes posibilidades de un nuevo e importante material: el hormigón (mezcla de cemento, arena, grava y agua) y empieza a utilizarse la estructura de núcleo central para edificios altos.

**La elección del lugar** Varias consideraciones (de carácter estético, financiero y de otro tipo) concurren en la elección del lugar en el que se construye un edificio. Pueden ser necesarios estudios de *marketing* y de carácter demográfico para determinar de qué modo una zona concreta podrá acoger un nuevo centro comercial, un colegio o un centro de dirección. Normas catastrales locales pueden impedir la venta del lugar deseado y condicionar el proyecto general del edificio, su altura y su uso, sea este residencial, industrial o mixto. Puede exigirse también la financiación para la construcción de nuevas y más amplias vías de acceso, el cumplimiento de condiciones debidas al paisaje, la realización de una instalación de iluminación viaria y la extensión de la red eléctrica, del agua corriente, del gas y de las conducciones del alcantarillado. Disposiciones locales pueden además estimular o exigir determinados usos de un terreno. La misma naturaleza del terreno debe ser estudiada para determinar si estará capacitado para soportar el peso del




14,2 m
4.000 kg
3.000 kg
1.100 kg
FERRO
1,35 m

En la construcción de un edificio se concentran las actividades necesarias según el proyecto particular para su realización: dependiendo del tipo del edificio, la obra contendrá dispositivos diferentes. Pero existen unas características comunes a toda edificación: es necesario acondicionar una pequeña oficina, ofrecer comodidades al que trabaja y suministrar los medios para efectuar la elaboración de todo lo que no existe ya prefabricado. Además se debe preparar la adquisición de materiales con el tiempo necesario para llevar a buen término la construcción en los plazos convenidos. Aquí, a la derecha, una grúa destinada a elevar los materiales a las distintas plantas de la construcción. A su derecha, el edificio en crecimiento.

INSTALACION DE OBRA

sentido de avance de los trabajos
depósito de ladrillos
cal apagada
arena
grava
depósito de ladrillos
cemento
montacargas
cimbras
bancos de elaboración del hierro
asistencia personal
sierra de cinta
elaboración de la madera y fabricación de tableros
dirección de los trabajos
recepción de materiales

edificio y si existen las condiciones para un drenaje adecuado del agua de lluvia mediante depósitos naturales a falta de una red de alcantarillado. Estas determinaciones son en su mayoría necesarias para establecer si el edificio podrá satisfacer las características de estabilidad exigidas por las normas generales de edificación y es misión del proyectista verificar que se dan las características deseadas. Mucho antes de llegar a este punto del proyecto, se ha exigido la licencia de construcción por parte de las autoridades. A veces la concesión de la licencia de construcción impone variaciones en el proyecto (por ejemplo, una variación del volumen edificado) y por esto los constructores esperan a tener la licencia para elaborar un proyecto definitivo.

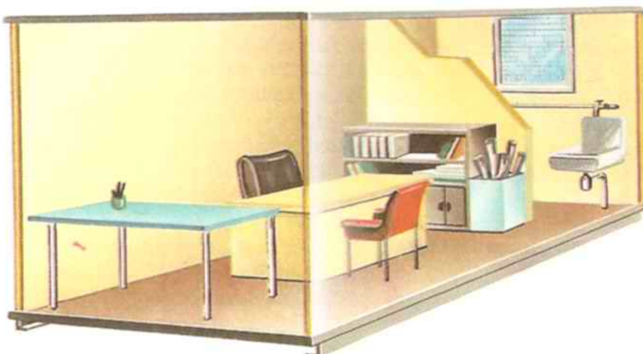
**El comienzo de los trabajos** Una vez estudiado el terreno sobre el que se va a edificar, se traza el perímetro del edificio con cuerdas y estacas. Inmediatamente se instalan enlaces eléctricos provisionales para el funcionamiento de las diversas máquinas con cuya ayuda se va a realizar la obra.

El primero de los numerosos trabajos especializados que participan en la construcción —la cimentación— exige la excavación del terreno, la instalación de encofrados y la colocación de los forjados en hormigón (sótanos), de las columnas y de las paredes de la parte inferior. En el caso de un edificio muy elevado, la completa realización de los trabajos de cimentación antes de iniciar la construcción por encima del nivel normal del terreno puede durar más incluso más de un año cuando se trata de edificios con muchas plantas de sótano. A continuación se construye el primer piso, y seguidamente los sucesivos. Diversos subcontratistas, carpinteros metálicos o de la madera, fontaneros , electricistas y otros pueden estar trabajando al mismo tiempo. En proyectos de gran envergadura, cada subcontratista, el director de obra y el jefe de obra disponen de una oficina en el interior de la obra. El director o el encargado de obra controla todos los trabajos, resuelve las controversias y actualiza los programas y los plazos del trabajo en función de los retrasos acumulados. Se ocupa igualmente de instalar montacargas y pasos cubiertos para proteger a los posibles viandantes que pasen por el lugar, y es el responsable de la limpieza, del orden y de la seguridad de la obra.

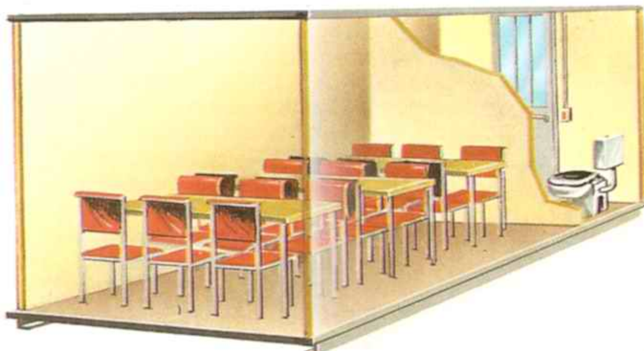
La mayor parte del personal y de los materiales es elevada a los pisos superiores mediante un montacargas. Para las vigas de acero y los forjados de hormigón de grandes dimensiones se utiliza una grúa torre, que, si es muy alta, hay que arriostrarla mediante unos cables al terreno o al edificio, o una grúa de caballete, unida a la estructura metálica exterior del edificio, y que se trasladan hacia arriba a medida que la estructura del edificio se va completando.

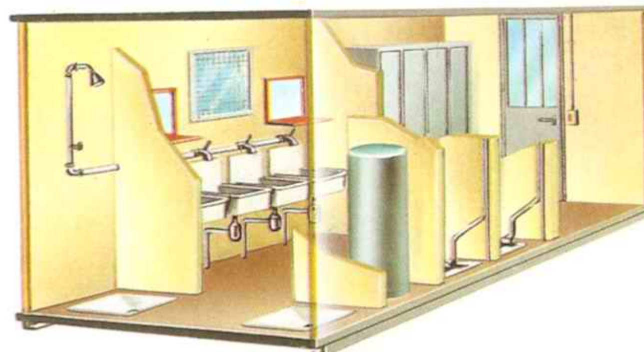
Los subcontratistas se suceden según las necesidades y el momento de la construcción. Las empresas de instalación de las paredes y paneles (el revestimiento exterior de los grandes rascacielos) siguen a los encargados de realizar las estructuras metálicas, permaneciendo distanciados de los primeros aproximadamente 10 pisos para evitar recíprocos estorbos. Cuando la estructura de acero alcanza el techo, los pisos más bajos pueden ser utilizables.

Véase **Cimientos; Construcción, materiales de**



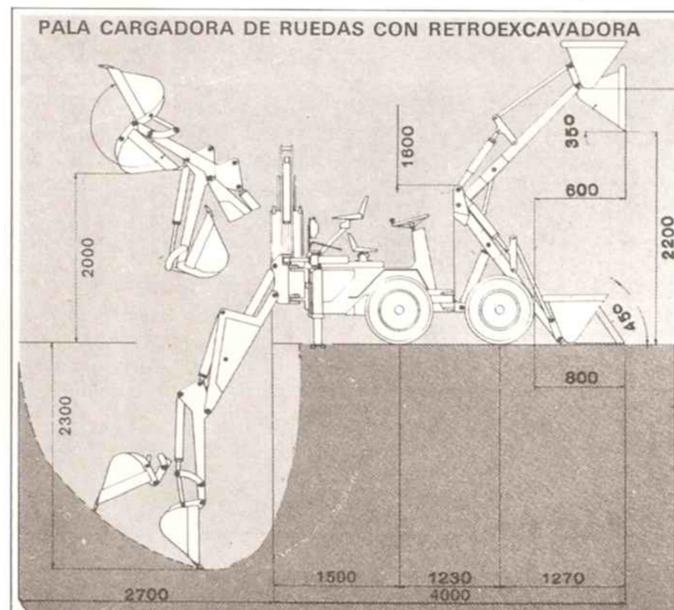






En la página anterior, arriba, gran hormigonera con elevación de materiales por dragalinas; debajo, hormigonera pequeña y cazo para elevación de los hormigones.

Una pequeña oficina, el comedor de los obreros y los servicios higiénicos pueden ser realizados hoy en día con elementos prefabricados, que son transportados a la obra por medio de un gran camión y unidos a tomas de energía eléctrica y agua. Sobre las líneas del bloque de texto anterior, exterior de uno de estos prefabricados: a veces se obtienen de contenedores de dimensiones estándar, con lo que el transporte resulta más fácil. Aquí abajo, una excavadora, con la que se inician los trabajos en la construcción del edificio: la primera actividad es excavar para alojar los cimientos apoyándose en suelo compacto.



# Efecto Doppler



la estrella se acerca a la Tierra, el espectro se desplaza hacia el azul-violáceo

El ejemplo tradicional que se ha empleado para explicar el efecto Doppler es el aumento y la disminución del tono del silbido de un tren mientras la locomotora se acerca al observador, lo adelanta y se aleja de él velozmente. Como las locomotoras de vapor han sido sustituidas por los trenes *diesel*, el largo y penetrante silbido de los viejos trenes ha cedido su lugar al sonido del claxon diesel, y actualmente puede que el mejor ejemplo de dicho efecto acústico —explicado por primera vez por el físico austriaco Christian Johann Doppler en 1842— lo constituya el ruido, primero agudo y después grave, de un veloz coche de carreras mientras se acerca y posteriormente se aleja del espectador.

**El efecto sobre las ondas sonoras** El sonido alcanza nuestros oídos en forma de ondas, es decir, una compresión y descompresión alternadas de moléculas de aire, causadas por las vibraciones de la fuente sonora. El número de ciclos de compresión-descompresión por segundo se conoce como *frecuencia del sonido*, y cuanto mayor es la frecuencia, tanto mayor es el tono. Ahora bien, si el espectador y el coche de carreras del ejemplo estuviesen parados, las ondas sonoras procedentes del motor alcanzarían los oídos del espectador con intervalos de tiempo iguales, es decir, la frecuencia sería siempre igual y el tono no variaría. Cuando el coche se acerca, el tiempo entre un pico de onda sonora y el sucesivo se acorta, y el número de ondas sonoras que alcanzan el oído del espectador por unidad de tiempo es mayor, por lo tanto aumentan la frecuencia y el tono. Cuando el coche se está alejando, el tiempo entre un pico y el siguiente es más largo; la frecuencia y el tono son menores. Estas variaciones del tono aquí descritas constituyen el *efecto Doppler*.

El aumento o disminución del tono del sonido mientras pasa el coche depende simplemente de la velocidad del coche y de la velocidad del sonido (que como sabemos es cercana a los 340 metros por segundo cuando se propaga por el aire). Multitud de experimentos han demostrado que hay una variación de un semitono (la diferencia entre *fa* y *mi* o entre *do* alto y *si* en la escala musical, o entre cualquier otra nota en la escala y su bemol) si el coche viaja a 42 km/h; de un tono entero si el coche viaja a 67 km/h, y de una octava si el móvil se desplaza a 400 km/hora.

**La luz y el efecto Doppler-Fizeau** El mismo Doppler sospechaba que un efecto similar podía darse en el caso de las ondas luminosas, pero fue un científico francés, Armand Louis Fizeau, quien demostró en 1848 que la posición de las líneas registradas por un espectroscopio en un espectro revelan una especie de efecto Doppler en las ondas luminosas. Se comprobó que la dirección (hacia o desde el observador) y la velocidad de las estrellas podían ser calculadas basándose en el cambio de frecuencia de las ondas luminosas, tal y como se demostró con el espectroscopio

En 1868, sir William Huggins, un astrónomo inglés, fue capaz de utilizar el efecto Doppler-Fizeau para calcular que la estrella Sirio se estaba alejando de la Tierra a una velocidad de 46,6 km por segundo. Más cerca de nuestro planeta, la misma técnica se podía utilizar para demostrar y estudiar la rotación del Sol o de los anillos de Saturno. La rotación del Sol puede, naturalmente, estudiarse observando las manchas solares, pero la rotación de los anillos de Saturno, que no tienen particulares puntos de referencia, requerían una técnica como la del efecto Doppler-Fizeau.

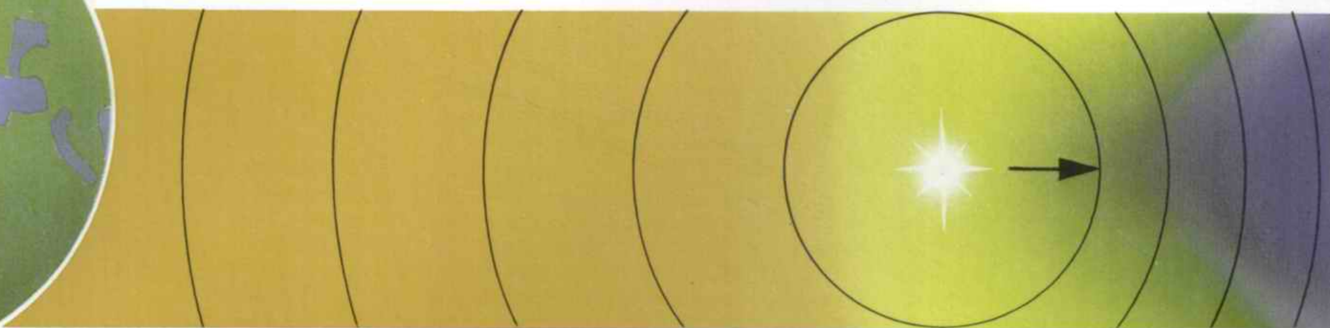
**El desplazamiento hacia el rojo y hacia el violeta** Cuando los astrónomos perfeccionaron los sistemas de medición de los corrimientos en los espectros de estrellas y galaxias remotas, fue posible realizar mediciones precisas de corrimiento hacia el rojo y hacia el violeta, como se revelaba en el espectroscopio. El corrimiento hacia el rojo se manifiesta cuando un cuerpo celeste se aleja del observador (lo cual quiere decir, en la práctica, que se aleja de nuestro Sistema Solar), y el aumento de la longitud de onda de las líneas espectrales es similar a la disminución de la frecuencia en el efecto acústico Doppler, es decir, un corrimiento hacia mayores longitudes de onda (rojo) indica que la estrella o la galaxia se está alejando del Sistema Solar. El corrimiento hacia el violeta, hacia las frecuencias más altas de las ondas luminosas, más cercano a la extremidad azul-violácea del espectro, indica que el cuerpo se está acercando al observador.

En 1929, un astrónomo estadounidense, E. P. Hubble, gracias a sus observaciones del corrimiento hacia el rojo en los espectros de galaxias, pudo demostrar que todas las galaxias se están alejando las unas de las otras a velocidades siempre mayores. Esas observaciones le llevaron, junto con otros astrónomos, a sugerir la hipótesis de la expansión del Universo, uno de los principios fundamentales en el plan-




A la derecha, un oyente inmóvil es adelantado por un vehículo en rápido movimiento (fuente móvil) que emite un sonido (el silbido de la locomotora). Cada onda sonora emitida por el vehículo en movimiento sale desde un poco más cerca del observador que la onda anterior, y por lo tanto es percibida en tono más agudo. Ocurre lo contrario si se aleja.





la estrella se aleja de la Tierra, el espectro se desplaza hacia el rojo

teamiento de los modernos conceptos del Universo.

Aunque similares en algunos de sus efectos, el efecto Doppler y el efecto Doppler-Fizeau son completamente distintos a causa de las diferencias fundamentales entre las ondas sonoras, que derivan de la compresión y descompresión de las moléculas del aire, y las ondas luminosas, que son una forma de radiación electromagnética. Por ejemplo, si el oyente se mueve perpendicularmente a una línea que lo une con la fuente sonora, no se aprecia ningún efecto Doppler; mientras, en el caso de la luz, un efecto Doppler-Fizeau puede ser advertido aunque el observador se mueva de ese modo.

Además, una diferencia fundamental entre el simple efecto Doppler y el efecto Doppler-Fizeau se deriva del hecho de que las ondas sonoras viajan "soportadas" por un medio material, mientras que las ondas luminosas no tienen necesidad de medio alguno para su transmisión.

**Otras aplicaciones prácticas** Los ingenieros han encontrado muchas aplicaciones prácticas para el principio Doppler. Dos de éstas están constituidas por el *radar Doppler*, que mide la velocidad relativa entre un sistema de observación (barco, avión u otro) y un objetivo, y por el *radiotelémetro omnidireccional de altísima frecuencia* (VHF), conocido como *VOR Doppler*, que desde 1958 ha sido cada vez más utilizado como parte fundamental de la instrumentación para la navegación aérea, tanto civil como militar.

Véase **Cosmología; Diagrama de Hertzprung-Russell; Electromagnetismo; Espectroscopía; Radar; Sonido**

Los modernos aviones a reacción viajan a velocidades cercanas a la del sonido y los efectos de variación de la frecuencia son más notables que los que se experimentan con fuentes y oyentes que se mueven en tierra. El esquema situado bajo estas líneas muestra una sección del fenómeno; debajo, vista tridimensional del mismo.

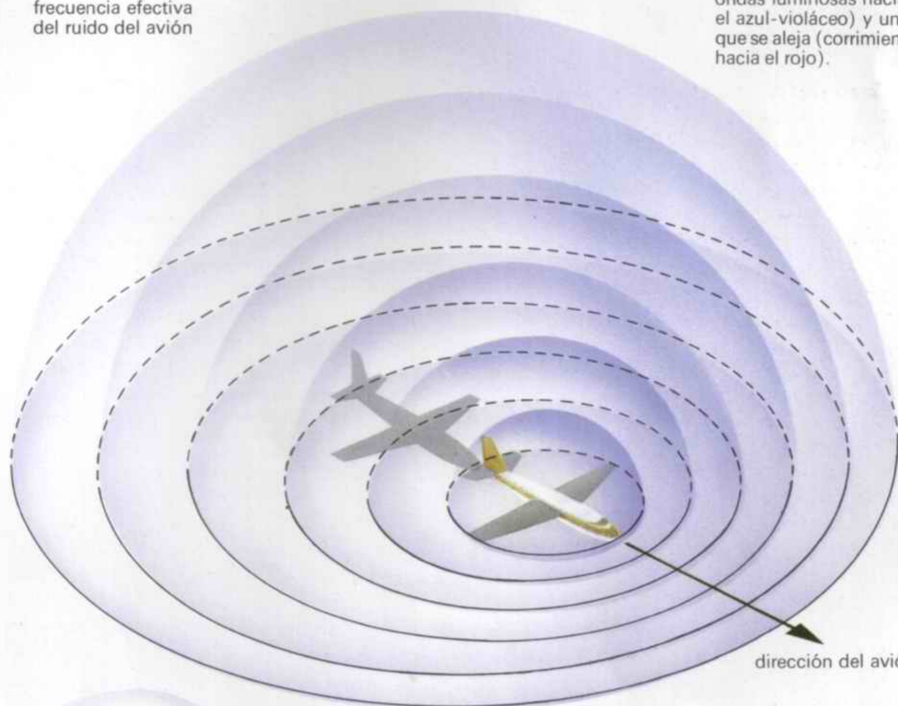
ondas sonoras dilatadas



ondas sonoras comprimidas

frecuencia efectiva del ruido del avión

Las ondas sonoras se propagan en la atmósfera a una velocidad de unos 340 metros por segundo. Una velocidad como la de los vehículos más comunes es suficiente para que el oído humano experimente la variación de la frecuencia de los sonidos dotados de una nota dominante. Sin embargo, el mismo fenómeno, que es característico también de la radiación luminosa, exige velocidades elevadísimas para ser experimentado. En un laboratorio se puede manifestar utilizando sofisticados instrumentos. La observación de fuentes astronómicas, a menudo sometidas a movimiento con velocidades muy elevadas, permite observar el fenómeno con facilidad, y los astrónomos lo usan para medir velocidades de los astros. Arriba: la Tierra entre una estrella que se acerca (corrimiento de las ondas luminosas hacia el azul-violáceo) y una que se aleja (corrimiento hacia el rojo).



dirección del avión

observador acercándose



fuente sonora inmóvil

observador alejándose



Una sirena inmóvil es oída por los dos motoristas de distinta manera. El que se acerca recibe un número mayor de ondas por segundo de las que recibiría si estuviese parado. El que se aleja huye de las ondas y en un segundo recibe menos que si está parado. El primero escucha una nota más aguda, y el segundo, una más grave.

# Efecto honda

Cuando un vehículo espacial lanzado desde la Tierra se acerca a otro planeta, sufre una progresiva aceleración debida a la atracción gravitacional de éste y, por tanto, el vehículo se precipita cada vez más deprisa, ganando velocidad y energía. Llegado a un cierto punto de su trayectoria, si el vehículo no está dirigido hacia el planeta, escapa a una velocidad de decenas de kilómetros por segundo, sobrevolando parcialmente el planeta y luchando contra su fuerza gravitacional. Finalmente, cuando el vehículo logra escapar nuevamente hacia las profundidades del espacio, presenta un cambio en su dirección y su velocidad. Gracias a este tipo de trayectorias, llamadas *hondas celestes* o *planetarias*, obtenidas jugando con los campos gravitatorios, los técnicos y científicos guían las sondas espaciales, lanzándolas de un planeta a otro sin necesidad de consumir más combustible para su propulsión.

**Orbitas y trayectorias** Todo cuerpo celeste —los planetas, sus satélites e incluso los vehículos espaciales— se mueve en el espacio siguiendo una trayectoria curva u órbita, cuya forma viene determinada por la influencia gravitacional de los otros cuerpos celestes que pertenecen al mismo sistema. Las órbitas descritas por la mayor parte de estos cuerpos —como, por ejemplo, los planetas— son elipses. Incluso un vehículo espacial, lanzado con una velocidad suficientemente elevada como para hacerlo escapar de la atracción de la Tierra y adentrarse en el espacio interplanetario, se pondrá a girar alrededor del Sol siguiendo una órbita elíptica. Si el vehículo es lanzado con la velocidad y la dirección apropiadas, puede lograrse que la órbita elíptica que toma alrededor del Sol corte la órbita de otro planeta. De esta forma, y durante la mayor parte de su viaje, el vehículo espacial se moverá por inercia. Mediante la intervención de pequeños cohetes auxiliares situados a bordo del vehículo, la ruta que sigue éste puede ser corregida, de forma que pueda pasar cerca de otros planetas.

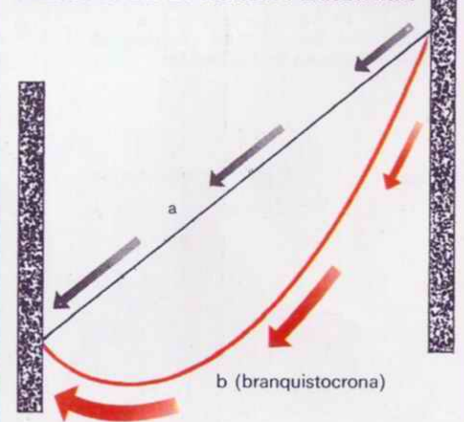
**La honda planetaria** Cuando un vehículo espacial se acerca a un planeta durante un viaje interplanetario, existe el riesgo de que el planeta lo capture, obligándolo a girar en una órbita circular o elíptica en torno a él. Lo que inicialmente se pretende es que la atracción gravitacional del planeta aumente la velocidad

Abajo, a la derecha, se muestra el principio de la honda planetaria, es decir, el modo en que algunas veces, alargando el camino que es necesario recorrer entre dos puntos del espacio, se emplea menos tiempo. Una carga que desciende por una cuerda (a) aumenta progresivamente su velocidad y recorre el camino con una velocidad media moderada. Si se la hace descender por la curva (b), cuya pendiente es mayor, la velocidad del peso aumenta rápidamente, y aunque el camino a recorrer sea mayor, el tiempo invertido en el recorrido es menor. Una línea de este tipo recibe en Mecánica el nombre de *branquistocrona*.

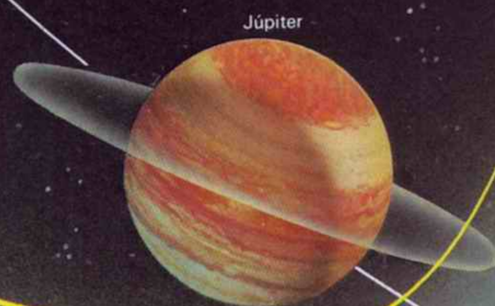








Para desplazarse de la Tierra a un planeta lejano, la mejor órbita, es decir, la que permite el menor gasto energético, es la que adopta una forma elíptica tangente exteriormente a la órbita de la Tierra e internamente a la órbita del planeta lejano. Sin embargo, a lo largo de esta órbita el tiempo de transferencia puede ser prohibitivamente largo, y aunque esto no represente un problema en un viaje Tierra-Luna, exige una solución para desplazamientos más largos. Tras salir de la órbita circunterrestre, se pasa cerca de →




→ Júpiter, se va hacia Saturno y, jugando con la misma fuerza de atracción y repulsión, se consigue el impulso necesario para llegar a Urano.

El último planeta visible en esta imagen, Urano, está dotado de una masa tan elevada como para colaborar en desplazamientos hacia planetas más alejados, como Neptuno, aprovechando siempre el efecto honda. De esta forma fueron programadas las misiones de las sondas planetarias *Voyager 1* y *2*, gracias también al hecho de que en los años en que se desarrollaron estos programas los planetas lejanos estaban prácticamente alineados y la branquistocrona que los acercaba era particularmente eficaz.

del vehículo, de modo que, cuando éste pase cerca de él, su velocidad sea superior a la velocidad de fuga del planeta, es decir, a la velocidad mínima necesaria para escapar del campo gravitacional del mismo.

Bajo la influencia de la gravedad, por lo tanto, el vehículo girará parcialmente alrededor del planeta que lo ha atraído, hasta ser despedido como si hubiese sido lanzado por una honda. Si la misión del vehículo espacial es la de orbitar alrededor del planeta, el vehículo debe contrarrestar el efecto honda accionando un retropropulsor que, en el momento justo, haga disminuir su velocidad, estabilizándolo en una órbita elíptica alrededor del planeta que era su objetivo final. Cohetes de frenado o retropropulsores de este tipo han sido utilizados durante todas las misiones *Apolo* (tripuladas) que fueron puestas en órbita alrededor de la Luna entre 1968 y 1972 y también en las misiones de las sondas *Mariner 9* (1971) y *Viking 1* y *2* (1976), enviadas a Marte.

También se han utilizado trayectorias "asistidas por la gravedad" en otras misiones espaciales de traslación entre planetas, utilizando las atracciones gravitacionales para acelerar la velocidad de los vehículos.

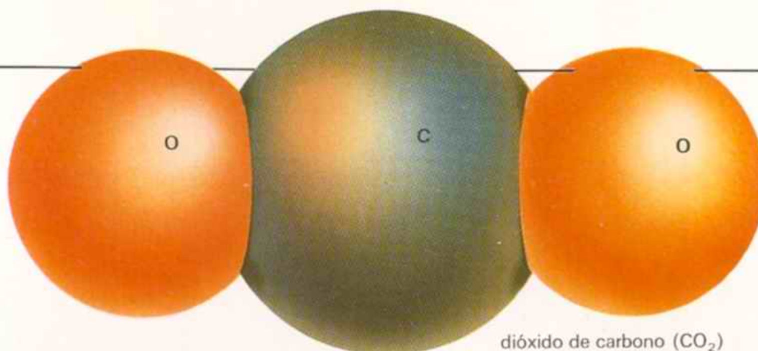
En febrero de 1974, el cálculo de trayectorias basado en la utilización de campos gravitatorios fue utilizado para desviar el *Mariner 10*, internándolo en el campo de Venus para posteriormente dirigirlo hacia Mercurio. De esa forma el vehículo espacial pudo enviar a la Tierra muchas fotografías de ambos planetas. La trayectoria, guiada por la gravedad, del *Pioneer 11* sobre el polo Sur y sobre el polo Norte de Júpiter permitió su relanzamiento, como un *boomerang*, a lo largo de 800 millones de kilómetros a través del Sistema Solar, alcanzando finalmente Saturno.

Una trayectoria análoga envió en julio de 1979 al *Voyager 2* alrededor de Júpiter, para después enviarlo a Saturno en agosto de 1981 y posteriormente a Urano (fecha prevista de llegada: enero de 1986), donde el efecto honda volverá a ser utilizado para enviar la sonda hacia Neptuno (donde está previsto que llegue en agosto de 1989).

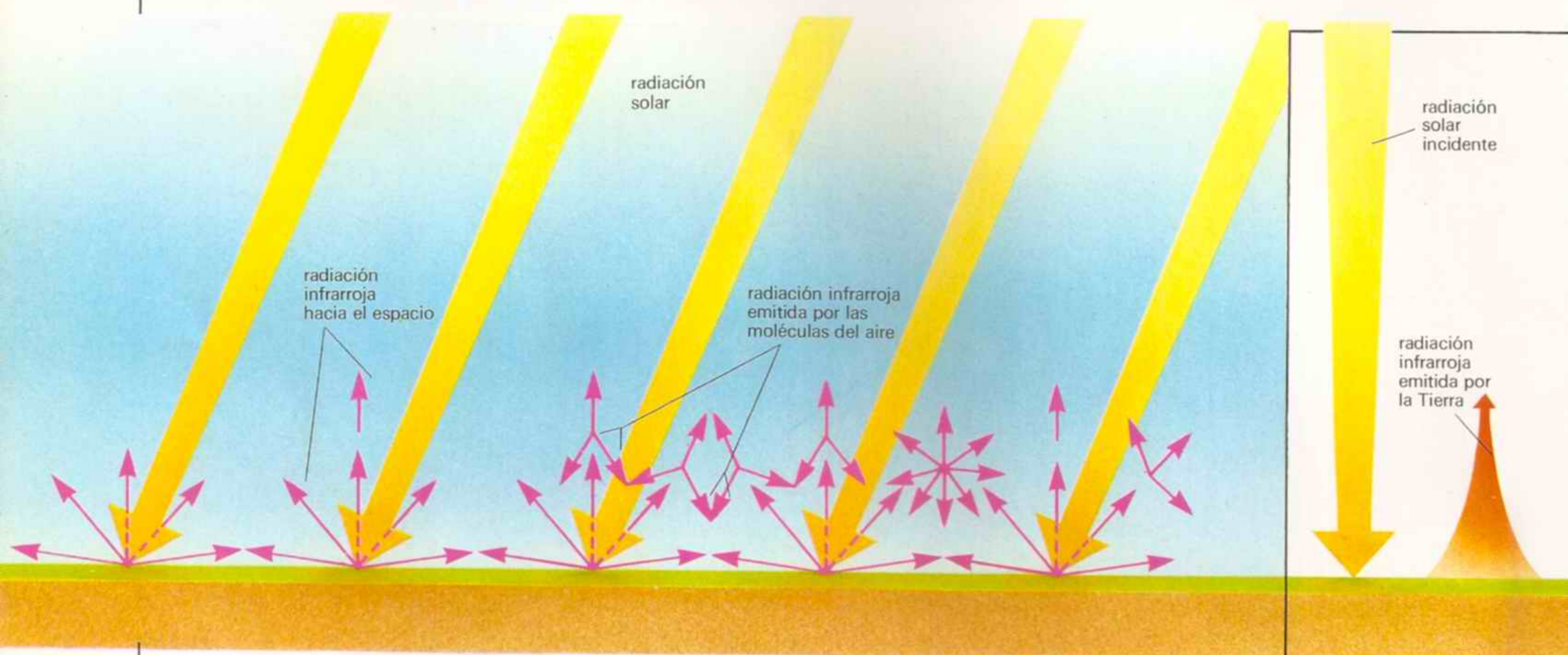
Véase **Sonda espacial; Tecnología orbital**

# Efecto invernadero

Cuando los científicos citan el *efecto invernadero,* se refieren a la similitud entre el comportamiento de la atmósfera que rodea a un planeta y las paredes de vidrio de un invernadero. Estas dejan pasar a su través una parte importante de la radiación solar, e impiden la salida de la irradiación emitida por el suelo, elevando en varios grados la temperatura del recinto.




Arriba, estructura de la molécula de dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero sobre la Tierra y sobre Venus. Un cuerpo sometido a irradiación por parte de otro que está enfrente de él recibe de este último una radiación que lo calienta. El mismo también irradiará, pero en una proporción menor que la del que le ha calentado, porque su temperatura es menor. A temperatura más baja, la radiación que emite tiene unas características diferentes de las de la radiación del cuerpo que le ha calentado; por eso, si el cuerpo está rodeado por un adecuado material absorbente, podrá recibir calor irradiado, pero tendrá dificultad para reemitirlo. El planeta Tierra emite calor por irradiación en forma de irradiaciones infrarrojas, pero si en la atmósfera hay un exceso de dióxido de carbono, el infrarrojo no es capaz de atravesarlo y la temperatura del planeta aumenta. Abajo, la radiación que proviene del Sol, y que llega hasta el suelo. Aquí es absorbida y reemitida en forma de radiaciones de mayor longitud de onda (es decir, de menor energía). Pero dicha radiación vuelve a la atmósfera, donde es absorbida por el dióxido de carbono y vapor de agua y reemitida en todas las direcciones, por lo que parte de ella retorna a la Tierra. Este ciclo contribuye a retener el calor en las capas atmosféricas más cercanas a la superficie. Abajo, a la derecha, esquema indicativo de cómo la radiación es atenuada tanto a la entrada como a la salida de la atmósfera.



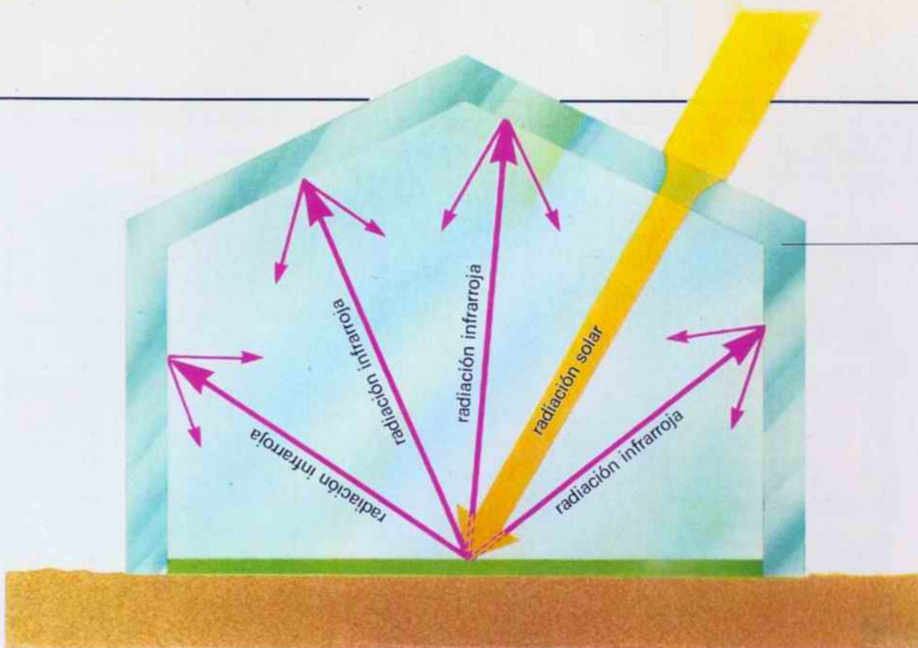

En los planetas con atmósfera, como es el caso de la Tierra, esta función de filtro casi transparente en una dirección y prácticamente opaco en la opuesta la realiza la atmósfera, que refleja hacia el espacio exterior solamente una pequeña parte de los rayos solares que la alcanzan y permite el paso del resto hasta el suelo, donde son absorbidos en forma de calor. Sin embargo, la emisión en forma de radiación infrarroja de la superficie terrestre es absorbida en la atmósfera por moléculas de algunos de los constituyentes del aire, reemitiendo una parte importante hacia la superficie terrestre. El resultado es que las oscilaciones en la temperatura entre el día y la noche quedan amortiguadas.

En las regiones áridas y desérticas, la atmósfera tiene muy poco vapor de agua (cuyas moléculas contribuyen a retener el calor) esto explica las grandes oscilaciones térmicas diarias: temperaturas muy elevadas durante el día y frío intenso por las noches.

Una imagen de Venus, donde el efecto invernadero, provocado por la capa de dióxido de carbono, hace subir la temperatura de la superficie hasta 460 °C. Esto impide la existencia de cualquier forma de vida.

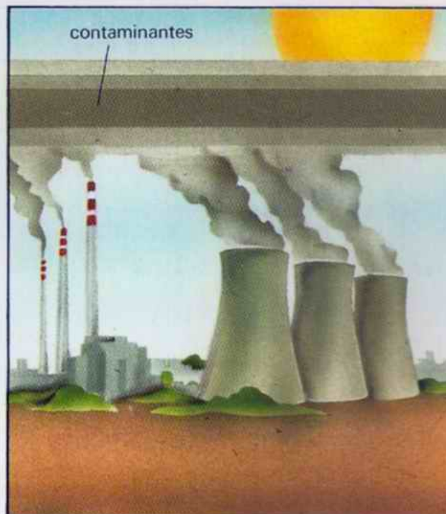


**Los hombres y el efecto invernadero** A partir de mediados del siglo XIX, la combustión de carbón y petróleo, así como la respiración de los organismos, la descomposición de la materia orgánica y la progresiva deforestación de amplias zonas del planeta han aumentado de manera notable el contenido de dióxido de carbono de la atmósfera. Dado que este compuesto absorbe el calor irradiado por la Tierra, el efecto invernadero podría acentuarse en un futuro próximo. De hecho, desde 1880 hasta 1940, la temperatura media de la atmósfera ha aumentado en 0,6 °C; esto es poco aparentemente, pero basta para producir apreciables cambios en el clima de ciertas regiones. Si este fenómeno continúa prolongándose, podría llegarse al hipotético caso —como algunos estudios han predicho— de un progresivo deshielo de los casquetes polares, lo que haría subir el nivel del mar e inundaría extensas regiones y gran número de las más importantes metrópolis del mun-




→ horas de insolación al año, como pueden ser el área mediterránea y algunas zonas de California, proporcionando un considerable ahorro energético y ausencia de contaminación. A la izquierda, bajo estas líneas, una central térmica para la producción de electricidad. La combustión de carbón y petróleo da lugar a la formación de cantidades ingentes de dióxido de carbono que se dispersan por la atmósfera, permaneciendo en el aire durante largos períodos de tiempo, induciendo un efecto invernadero cada vez más intenso, que podría provocar en un futuro no lejano, y en ausencia de efectos contrarios, un progresivo aumento de la temperatura del planeta.

Arriba, un invernadero convencional para uso agrícola. La flecha amarilla representa la incidencia de la radiación solar, atenuada al atravesar la pared del invernadero. La radiación, absorbida por el suelo, es nuevamente emitida en forma de rayos infrarrojos de gran longitud de onda. El cristal es opaco a estos rayos infrarrojos y por eso los retiene, elevando la temperatura del interior del invernadero hasta una decena de grados por encima del aire que lo rodea. A veces, es necesario incluso disponer de un sistema de ventilación para que no se produzca un calentamiento excesivo. La sustitución del cristal por otros materiales como pueden ser los plásticos es problemática, ya que éstos deben no sólo ser transparentes a la radiación visible sino también poseer las mismas bandas de absorción en el infrarrojo que el vidrio. Los paneles solares para agua caliente y calefacción utilizan este procedimiento. Su uso se está extendiendo enormemente en regiones con un número elevado de →




do. Afortunadamente esta escena catastrófica es poco probable. La creciente preocupación de los gobiernos por este tema está llevando a una progresiva limitación de los combustibles fósiles (como el carbón, el petróleo y el gas natural), reduciendo la proporción de las emisiones de residuos a la atmósfera.

Existe, no obstante, otra razón para que este calentamiento no llegue a producirse. Además de compuestos de carbono, la actividad industrial genera grandes cantidades de polvo y residuos de combustión que, transportados por el viento, pueden permanecer en suspensión durante largos períodos de tiempo, creando una pantalla que refleja parte de la radiación solar, produciendo un enfriamiento de la superficie del planeta.

En la actualidad no existe un acuerdo sobre cuál de los efectos prevalecerá, condicionando el clima del futuro. En tanto que muchos expertos están preocupados por este tema, otros trabajan para utilizar el efecto invernadero en nuevas tecnologías para el ahorro energético. Los grandes sistemas de producción y actividad humanas pueden ser proyectados teniendo en cuenta las modalidades de distribución y reflexión del calor; de esta forma se podría llegar al diseño de sistemas altamente eficaces.




Al quemarse combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural), los residuos sólidos se depositan sobre el suelo, donde son asimilados por el tapiz vegetal, o bien transportados hasta los océanos. El resto de los productos de la combustión, principalmente dióxido de carbono, permanece en la atmósfera un tiempo medio de siete años, depositándose sobre las superficies de la tierra y los mares por medio de la lluvia.

En las llamadas *casas solares*, en las que parte del consumo energético corre a cargo de la transformación directa de la energía radiante, el efecto invernadero es altamente utilizado para conservar el calor y distribuirlo a los distintos locales habitados. Otras tecnologías en fase de experimentación apuntan, por el contrario, a eliminar en lo posible este efecto. En algunas zonas se han introducido con éxito sistemas para la desalinización del agua marina que son precisamente de este tipo. Una capa poco profunda de agua salada, presente en los estanques de desalinización, puede llegar a helarse en las noches despejadas debido a que los rayos infrarrojos emitidos por la superficie se pierden hacia el exterior de la atmósfera sin ser reflejados hacia la Tierra. El líquido que se encuentra debajo del hielo, con gran concentración de sal, es trasvasado a otro lugar. El hielo, una vez fundido a la mañana siguiente, proporciona, sin costes energéticos, agua dulce, precisamente gracias a que no ha intervenido el efecto invernadero.

**En otros planetas** Los astrónomos han concluido que el efecto invernadero es particularmente fuerte en Venus, planeta con una atmósfera muy densa y con un alto contenido de dióxido de carbono que impide la existencia de cualquier forma de vida a la vez que hace que su superficie presente un aspecto árido y desolado.

Júpiter, cuya distancia al Sol es cinco veces mayor que la de la Tierra, tiene algunas zonas en las que la presión y la temperatura no son muy distintas a las terrestres. Los científicos lo atribuyen en parte a la presencia de un fortísimo efecto invernadero.

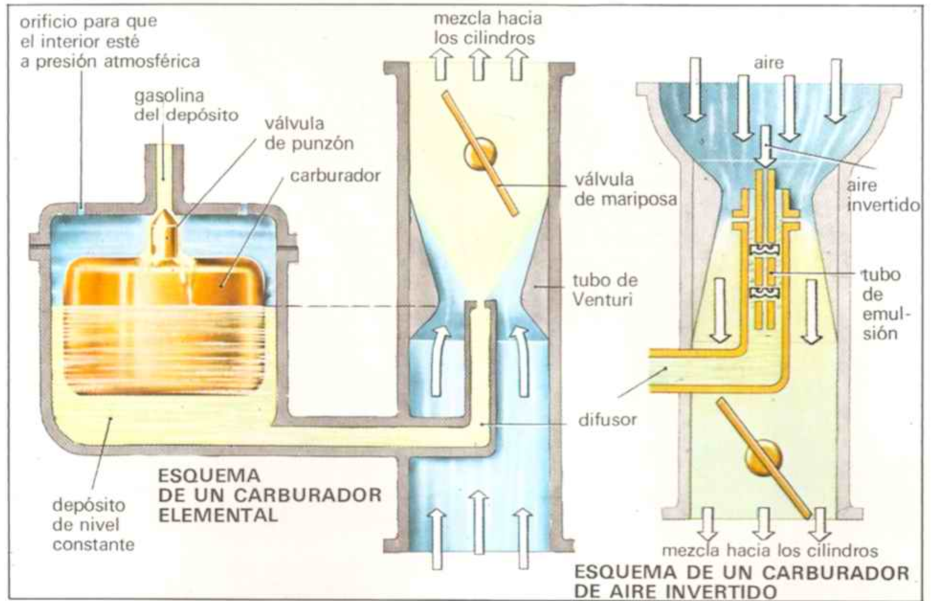
Véase **Atmósfera; Atmósfera, evolución de la; Carbono; Clima; Invernadero**

# Efecto Venturi

El efecto Venturi se basa en un principio fundamental que se puede ilustrar con un ejemplo muy simple: al sujetar con los dedos el borde de una hoja de papel debajo del mentón y soplar sobre ella, el otro extremo de la hoja se levantará hacia la corriente de aire, como si ésta lo atrayera.

Un efecto análogo se produce al sujetar por el mango una cuchara al lado del chorro de un grifo: si la cuchara se puede balancear, cuando su superficie convexa toca el chorro de agua, será atraída bruscamente.

Los efectos descritos son manifestaciones de un principio general aplicable a las corrientes de aire, de agua y de cualquier otro tipo de fluido. La *presión* en un líquido en movimiento es inferior a la del líquido en reposo y, en consecuencia, la diferencia de presiones atrae hacia el fluido en movimiento al objeto que esté en medio (la hoja de papel o la cuchara). En base a este principio se diseñan las alas de los




diferencia
de presión
tubo de sección
ancha
estrechamiento:
disminuye
la presión
aumenta
la velocidad
del fluido
tubo de
sección ancha
TUBO DE
VENTURI

aire
introducido
a presión
atmosférica
estrechamiento
aire a presión
menor que la
atmosférica
líquido
absorbido
la presión
del aire
disminuye
por el efecto
Venturi
líquido
a presión
atmosférica

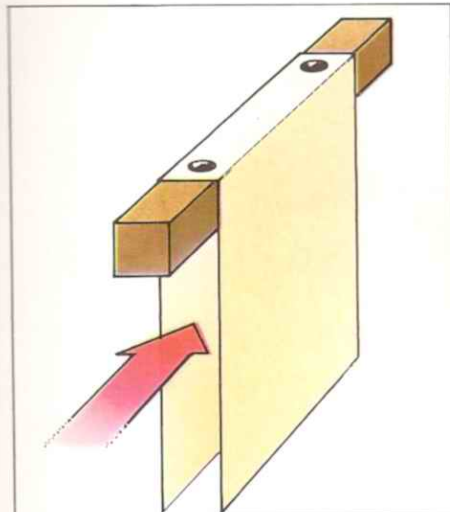
En un carburador normal (arriba: dibujo de la izquierda) el aire que aspira el motor atraviesa el difusor (tubo de Venturi), creando en la zona estrecha una disminución de la presión que absorbe el combustible del pequeño depósito. Al salir del difusor, el combustible se mezcla con el aire. Arriba a la derecha, esquema de un carburador donde el aire entra invertido: la mezcla, dosificada para los regímenes bajos, se empobrece en los regímenes altos por el aire que atrae la disminución de presión producida en el tubo de Venturi. En el dibujo del centro se ha representado un tubo de Venturi: por él circula un fluido con una cierta presión (en la sección ancha); cuando el fluido pasa por el estrechamiento, su presión disminuye y su velocidad aumenta. Se puede comprobar la disminución de presión observando la diferencia de niveles que tiene el fluido en dos tubos (de la misma sección y abiertos por arriba). En el tubo situado en la sección mayor, el fluido sube a mayor altura que en el tubo situado en el estrechamiento. La disminución de presión en el tubo de Venturi produce como consecuencia la aspiración (dibujo de arriba), que es la base del funcionamiento de un carburador normal. Cuando pasa el aire a presión atmosférica por el tubo de Venturi, la menor presión en la zona estrecha absorbe el líquido del pequeño depósito, donde está a presión atmosférica.

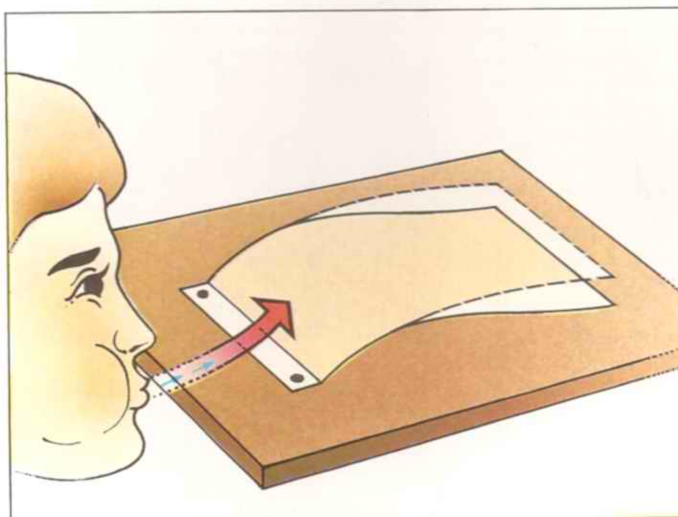
aviones para obtener la fuerza de sustentación necesaria para que se mantengan en vuelo.

El mismo principio se utiliza también en el diseño y funcionamiento de los carburadores de los coches para obtener la mezcla de aire y gasolina.

**Bernoulli y la física del aire** En el año 1738 el matemático Daniel Bernoulli dio una explicación a este comportamiento de los gases.

Según Bernoulli, los gases están compuestos por pequeñas partículas en movimiento continuo, que chocan unas contra otras y rebotan, de forma parecida a las bolas de billar, produciéndose choques también contra las paredes del recipiente que contiene el gas. Los choques producen un empuje sobre las paredes del recipiente, y la fuerza global que ejercen todos estos choques pequeños, por unidad de superficie, recibe el nombre de *presión del gas.*



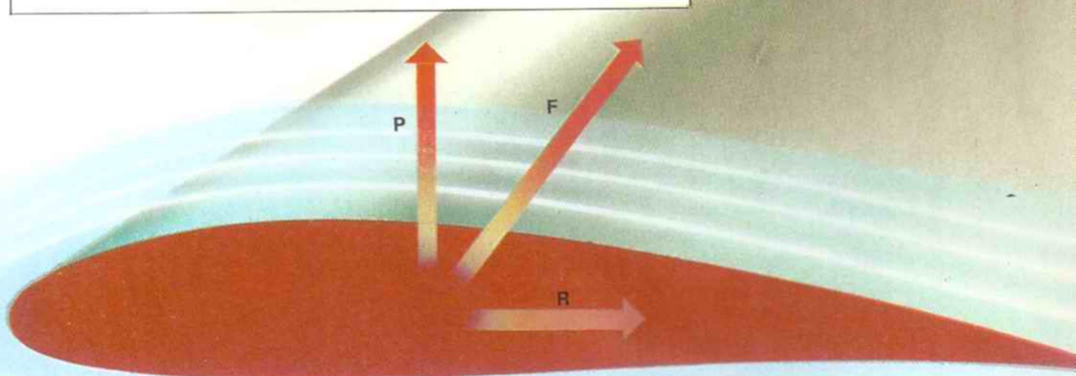


La hipótesis de Bernoulli no se aceptó inmediatamente, debido a que muchos científicos no creyeron en la teoría atómica hasta principios de este siglo. A pesar de todo, Bernoulli llegó a formular algunas leyes sobre el movimiento de fluidos que sí se aceptaron. La más importante de ellas, conocida con el nombre de *teorema de Bernoulli*, establece que la presión que ejerce un fluido en movimiento, en dirección perpendicular al movimiento, es menor que la presión que ejerce cuando está en reposo. Cuando las moléculas de un fluido forman una corriente en movimiento, se "estiran" y las distancias que las separan se vuelven mayores que las normales en el fluido en reposo: ello produce una reducción del número de colisiones y, en consecuencia, una disminución de la presión. Cuando un cuerpo, como la cuchara, toca la corriente, la presión en la cara cóncava es mayor que la ejercida en la cara convexa, que está en contacto con el fluido en movimiento y, en consecuencia, el cuerpo se desplaza hacia la corriente. Con mayor precisión: al cuerpo no le empuja o le atrae la corriente, sino que se mueve de una zona de presión mayor a otra de presión menor.

**Venturi y el tubo homónimo** El físico italiano Giovanni Battista Venturi realizó un instrumento, basado en el principio de Bernoulli, para determinar la velocidad de los fluidos que lo atraviesen. El dispositivo está formado por un tubo que se estrecha en su parte central. Según el teorema de Bernoulli, en el estrechamiento se produce una disminución de presión cuando el fluido pasa a través de él. La disminución de presión en un tubo preparado de esta forma recibe el nombre de *efecto Venturi.* Midiendo las presiones fuera del estrechamiento y en el mismo estrechamiento, se puede medir el caudal del fluido. El aparato que realiza tal medida se llama *venturímetro* y el tubo con el estrangulamiento, pensado para aprovechar el teorema de Bernoulli, se llama *tubo de Venturi.*

Quizá la aplicación más común del efecto Venturi es en el carburador de los motores de combustión. Antes de que la gasolina se queme en el motor tiene que vaporizarse en finísimas gotas y mezclarse con el aire. El aire entra en el carburador por un conducto, llamado *colector*, y fluye por el interior de un tubo de Venturi donde, al aumentar la velocidad en el estrechamiento, su presión disminuye. En el estrechamiento hay un tubito unido a la parte de alimentación de combustible: la fuerte disminución de presión atrae a la gasolina hacia la corriente de aire, nebulizándola y mezclándola rápidamente con el aire.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica; Automóvil, carburación; Fluídica; Presión**




Los dos dibujos de arriba representan varias pruebas experimentales del efecto Venturi: en el de la izquierda, se tienen dos hojas de papel separadas 2 ó 3 cm, sujetas a un listón de madera; al soplar entre ellas, las hojas se acercan porque la presión del aire en movimiento en el interior es menor que la presión que ejerce el aire en reposo en la parte externa. También se puede comprobar el efecto sujetando una hoja con chinchetas a un soporte y doblando ligeramente la parte libre (dibujo de la derecha); al soplar por encima, veremos que la hoja se levanta. Esto sucede porque el aire en movimiento sobre la cara superior de la hoja hace una presión menor que la presión sobre la cara inferior, principio en el que se basan las alas de los aviones. En las alas el aire tiene más recorrido por la cara superior, por tanto pasa más rápido y ejerce una presión menor: el resultado es que el ala tiende a elevarse.

# Elasticidad y deformación

El muelle de un reloj común puede ser enrollado y desenrollado millones de veces al cabo del año y continuar funcionando: esto es debido a la propiedad del muelle de volver a su forma original después de haber estado enrollado. Los amortigüadores y las balanzas de muelle funcionan en base a esta propiedad.

Un material como el muelle de acero, que vuelve a tomar su forma inicial después de haber estado deformado de cualquier modo, se denomina *elástico*. El muelle es un dispositivo que usa para un fin determinado las propiedades elásticas del material de que está hecho. Muelles de pequeñas dimensiones hacen funcionar los relojes, muelles de gran tamaño se usan para amortigüar los golpes en los automóviles y las locomotoras.

**Límite elástico** Algunos materiales, entre los que podemos incluir la pasta del pan y la grasa lubrificante, no son elásticos: si se deforman, por ejemplo con la presión ejercida por un dedo, no muestran ninguna tendencia a readquirir la forma original, y la marca les queda impresa mientras que no sean deformados por otra fuerza. Estos materiales se llaman *plásticos*.

Otras sustancias muestran la tendencia a volver a tomar la forma de partida: la tabla de madera de un trampolín volverá a adquirir la posición inicial después de que un saltador haya provocado la deformación, como un tirante elástico. Estos materiales son altamente elásticos.

La elasticidad no tiene nada que ver con la facilidad con la que un material puede sufrir deformaciones, sino que se refiere solamente a la perfección con la que el material comprimido vuelve a su posición inicial; el acero, por ejemplo, puede ser mucho más elástico que la goma, aunque sea mucho más difícil deformarlo.

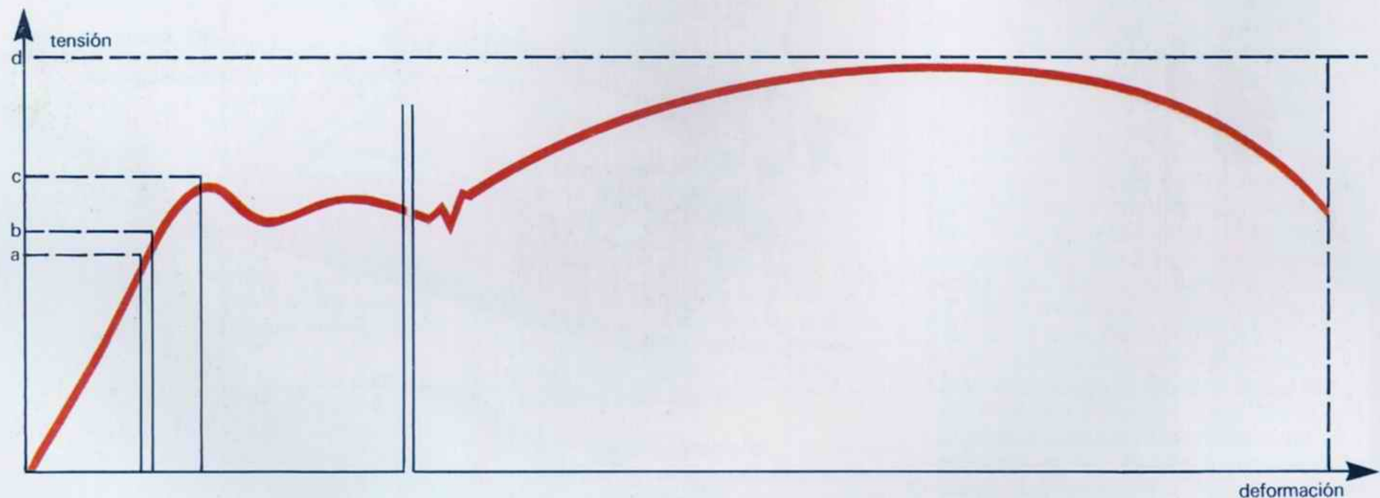
Para cada sustancia elástica, sin embargo, existe un límite en la intensidad de la fuerza a la que puede ser sometida sin su-



La tabla de la derecha refleja el módulo de elasticidad (en kg/mm²) de algunas sustancias.

| | |
|---|---|
| hierro y aceros | 2.100 |
| níquel | 2.100 |
| cobre | 1.200 |
| roca basáltica | 1.150 |
| bronce en forma de cable | 1.150 |
| latón | 1.000 |
| bronce fundido | 900 |
| cinc | 850 |
| cristal | 700 |
| aluminio | 700 |
| granito | 550 |
| plomo | 160 |
| hormigón | 100-350 |

La foto de la izquierda presenta una muestra sometida a tracción hasta superar la carga de rotura: el material que constituye esta muestra ha sufrido un notable alargamiento antes de llegar a romperse. En la foto inferior puede verse el muelle que regula las oscilaciones del volante de un reloj.






Sometiendo a tensiones un determinado material, éste se alarga de un modo directamente proporcional a la tensión aplicada, hasta alcanzar el valor *a* (límite de la proporcionalidad); si en este punto se anula el esfuerzo, el material volverá a sus dimensiones iniciales. Para esfuerzos comprendidos entre *a* y *b* (límite de elasticidad) los alargamientos ya no son proporcionales; y entre *b* y *c*, la deformación no es reversible. Con esfuerzos superiores a *c*, hasta llegar a la carga de rotura (*d*), la deformación continúa aumentando.

frir una deformación permanente: esta fuerza máxima se conoce como *límite elástico* del material. Una sustancia dada puede recuperarse completamente de la acción de las fuerzas deformantes que tengan una intensidad menor del límite elástico, pero no puede recuperar completamente la forma original si sobre ésta actúan fuerzas de intensidad superior a este límite.

El límite elástico es distinto para los diferentes materiales. Los hilos de acero tienen un límite elástico elevado, mientras que el cristal tiene un límite elástico bajo. El límite elástico de cada material varía también con la temperatura: cuanto más alta es la temperatura del material, tanto más bajo resulta su límite elástico.

El límite elástico de un material depende también del tipo de tensión que produce la deformación a la que está sometido. La tensión que se ejerce sobre un fluido se denomina *compresión*, la que se ejerce sobre un cable, *tracción*; la *flexión* y la *torsión* son otros tipos de tensiones. Todo material tiene un límite elástico distinto para cada una de las modalidades de tensión.

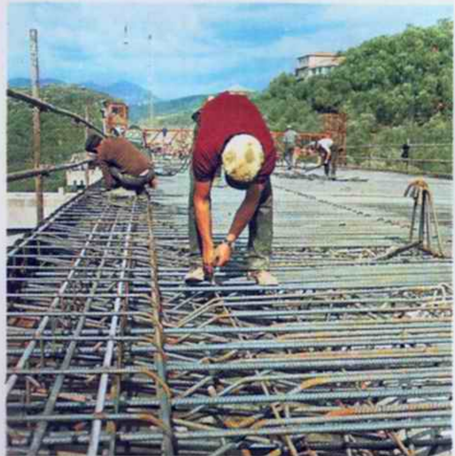
**Deformación** La deformación es la medida de la distorsión producida por un determinado tipo de tensión. El científico inglés Robert Hooke (1635-1703) descubrió que hasta el límite elástico la deformación es proporcional a la tensión. La deformación producida en un material es directamente proporcional a la intensidad de la fuerza ejercida sobre éste. Esa relación se conoce como la *ley de Hooke*, en honor a su descubridor.

Un ejemplo familiar de aplicación de la ley de Hooke es el de la balanza de muelle (o dinamómetro), en el que un objeto suspendido de un gancho estira el muelle bajo la acción de su peso, y un índice solidario al muelle permite leer el peso del objeto en una escala vertical solidaria con el soporte del dispositivo. Cuanto mayor es el peso, más se estira el muelle y más se desplaza hacia abajo el índice a lo largo de la escala.

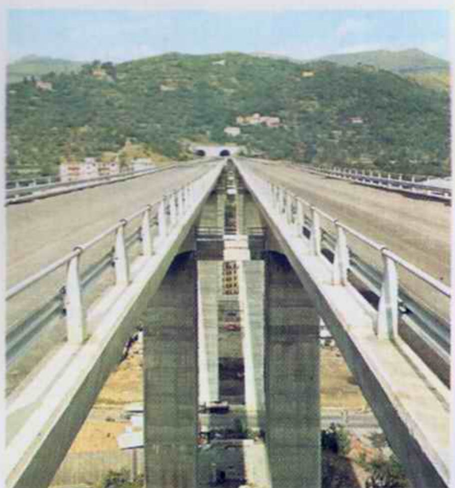
La ley de Hooke entra en juego no sólo en todos los dispositivos que hacen uso del muelle, sino también en el proyecto de cualquier parte de una máquina y de los soportes sometidos a tensiones.

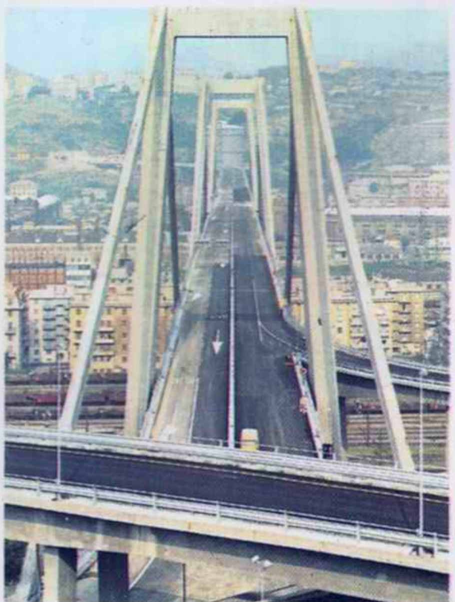
Véase **Amortiguador; Balanza; Reloj**

En la construcción de viaductos y puentes para carreteras y autopistas (foto inferior), uno de los datos que condiciona los materiales y la estructura a realizar es el que se refiere a las tensiones a que estará sometida la obra. Por ejemplo, en la preparación de los cimientos (abajo, a la izquierda) y en la armadura del tablero (bajo estas líneas), la disposición de las barras de acero debe seguir un esquema preciso, derivado de las tensiones a que serán sometidos los pilares y los tableros.





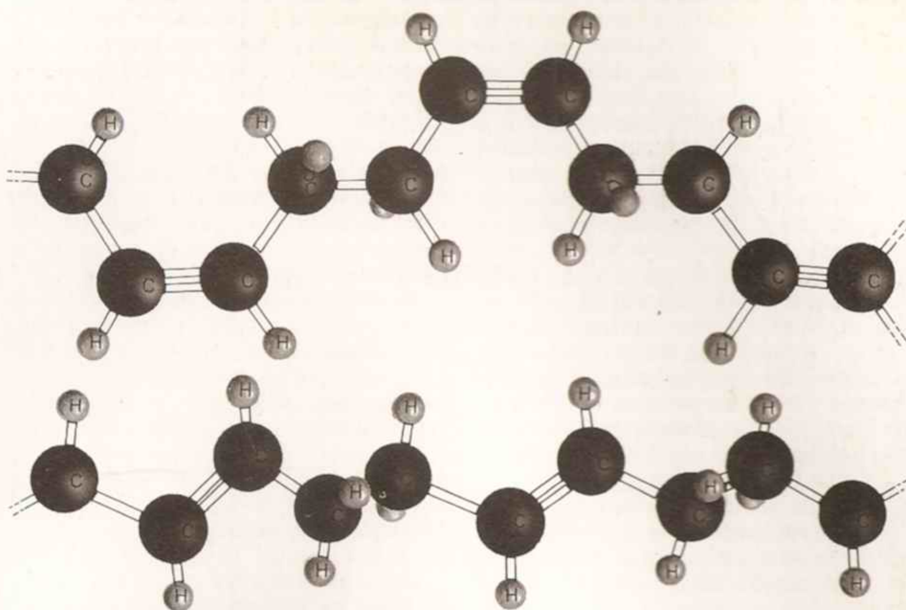




# Elastómeros

Durante la I Guerra Mundial, los alemanes se enfrentaron con la necesidad de preparar un caucho artificial. La sustancia a la que se llegó (a mediados de los años veinte) fue precursora de una inmensa actividad industrial. Esa sustancia fue llamada *goma buna* porque era un derivado del butadieno ($C_4H_6$) obtenido por medio de una reacción catalizada por el sodio (Na). La materia más importante, el butadieno, es uno de los constituyentes principales de todos los materiales sintéticos modernos, en los cuales se encuentra en combinación con otras numerosas sustancias, cada una de las cuales determina la naturaleza del producto final.

**Elastómeros derivados del petróleo** La mayor parte de las actuales gomas sintéticas tiene como base una estructura molecular derivada del carbono. En otras palabras, los ingredientes que las constituyen contienen unos átomos de carbono que están unidos entre sí formando largas (y a veces complejas) estructuras moleculares, conocidas con el nombre de *polímeros*. Para ser adecuadamente flexible, un polímero tiene que estar ligado por fuerzas intermoleculares débiles y tiene que poseer una estructura suficientemente irregular. Los químicos han denominado a estas sustancias flexibles, gomosas y pesadas con el nombre de *elastómeros*. Un polímero del carbono de este tipo es la conocida goma estireno-butadieno, que hoy es el elastómero de mayor producción. Es muy flexible, no suele presen-



Arriba, dos diagramas que muestran las diversas disposiciones de los átomos en las macromoléculas de polibutadieno de distinta estructura. El primero, el polibutadieno 1-4 cis, dotado de características elastoméricas parecidas a las de la goma; debajo, el polibutadieno 1-4 trans, que presenta características plásticas y fibrosas. Bajo estas líneas, esquema del proceso para la producción de la goma estireno-butadieno (SBR). Las fases del proceso son: 1) el butadieno fresco, mezclado con butadieno de reciclo, es bombeado hacia los reactores; 2) el estireno fresco, mezclado con estireno de reciclo, es bombeado hacia los reactores; 3) se prepara el catalizador y se le bombea hacia los reactores; 4) se bombea la solución acuosa a los reactores; 5) en los reactores se produce la polimerización del butadieno y del estireno; 6) bloqueo del crecimiento de las cadenas; 7) recuperación del butadieno que no ha reaccionado y que es reciclado; 8) al tanque 1; 9) recuperación del estireno que no ha reaccionado y que se recicla; 10) al tanque 2; 11) tanque de acumulación del látex SBR; 12) el látex se coagula en grumos, se lava y se filtra; 13) se secan los grumos; 14) la goma seca es comprimida en balas.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11



tar fisuras y tiene una duración en el tiempo que puede definirse como satisfactoria. Cuando se le refuerza con negro de humo (aditivo utilizado en muchos de los tipos de elastómeros carbonosos), permite producir excelentes neumáticos, especialmente para vehículos pesados y para aviones.

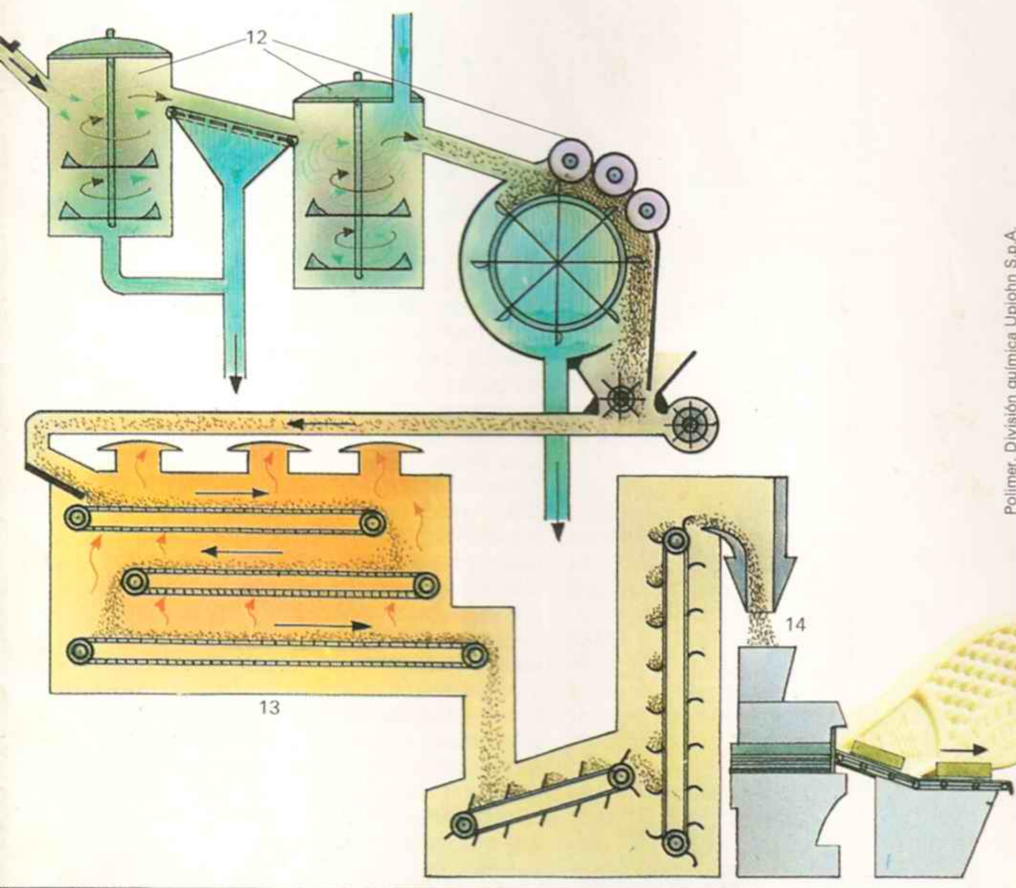
Otros elastómeros, cuya constitución es muy distinta de la del estireno-butadieno, son, por ejemplo, la goma metálica (para aislantes químicos, tuberías sumergidas, sellado de ventanas), el neopreno (aislamiento de hilos y de cables, tejidos conductores) y goma nitrílica (sellos, juntas y recubrimientos para tejidos).

**Elastómeros silicónicos** Constituyen una de las partes más interesantes y sofisticadas de todo el campo de las gomas sintéticas. Aunque su estructura permite hacerlos de simple sílice (arena), tan poco costosa y tan fácil de encontrar, el proceso de producción, complejo y caro, limita sus posibilidades de empleo en las aplicaciones especiales, donde se revelan de grandísima utilidad, tanto más por poseer una gran versatilidad de utilización, pudiendo presentarse bajo forma dura, sólida y resistente o bajo forma más viscosa de resina o líquido. Además, su naturaleza inorgánica los hace inertes ante cualquier reactividad en los procesos biológicos, y por lo tanto pueden ser utilizados donde otros tipos de goma sintética son excluidos. Una de esas utilizaciones es en el campo de las aplicaciones médicas: instrumentación quirúrgica, tuberías de equipos médicos, fabricación de prótesis, etc. Como ocurre con todos los elastómeros orgánicos, la resistencia al calor de las siliconas, su flexibilidad y su dureza pueden ser reguladas con precisión por medio de la composición cualitativa y cuantitativa de los componentes.

**Las ventajas de la posibilidad de regulación** Una ventaja que todos los elastómeros artificiales ofrecen en relación con los productos naturales es la posibilidad de adaptar las características a los requerimientos específicos de los productos acabados. Esto se consigue, bien por una adecuada selección de los componentes que los constituirán, bien mediante oportunas variaciones en el proceso de fabricación, bien, en fin, adaptándolos a las condiciones en las que se utilizarán. Por ejemplo, se pueden incluir en su composición sustancias antidegradantes que los protejan de los efectos dañinos del oxígeno y del nitrógeno. Pueden, además, hacerse más duros o más blandos, más ligeros o más pesados, simplemente interviniendo sobre la estructura molecular de base. Los elastómeros artificiales pueden laminarse en hojas y cortarse, o elaborarse, mediante procesos de extrusiones, en formas predeterminadas.

Véase **Plásticos; Polímeros**

Arriba, gránulos de elastómeros. Estos polímeros son comercializados en esta forma para poder ser empleados posteriormente en los distintos procesos de producción. Abajo, a la derecha, varias parejas de suela-tacón para calzados, que se obtienen por estampado de elastómero; poseen elevada resistencia al uso y una notable economía en su producción.



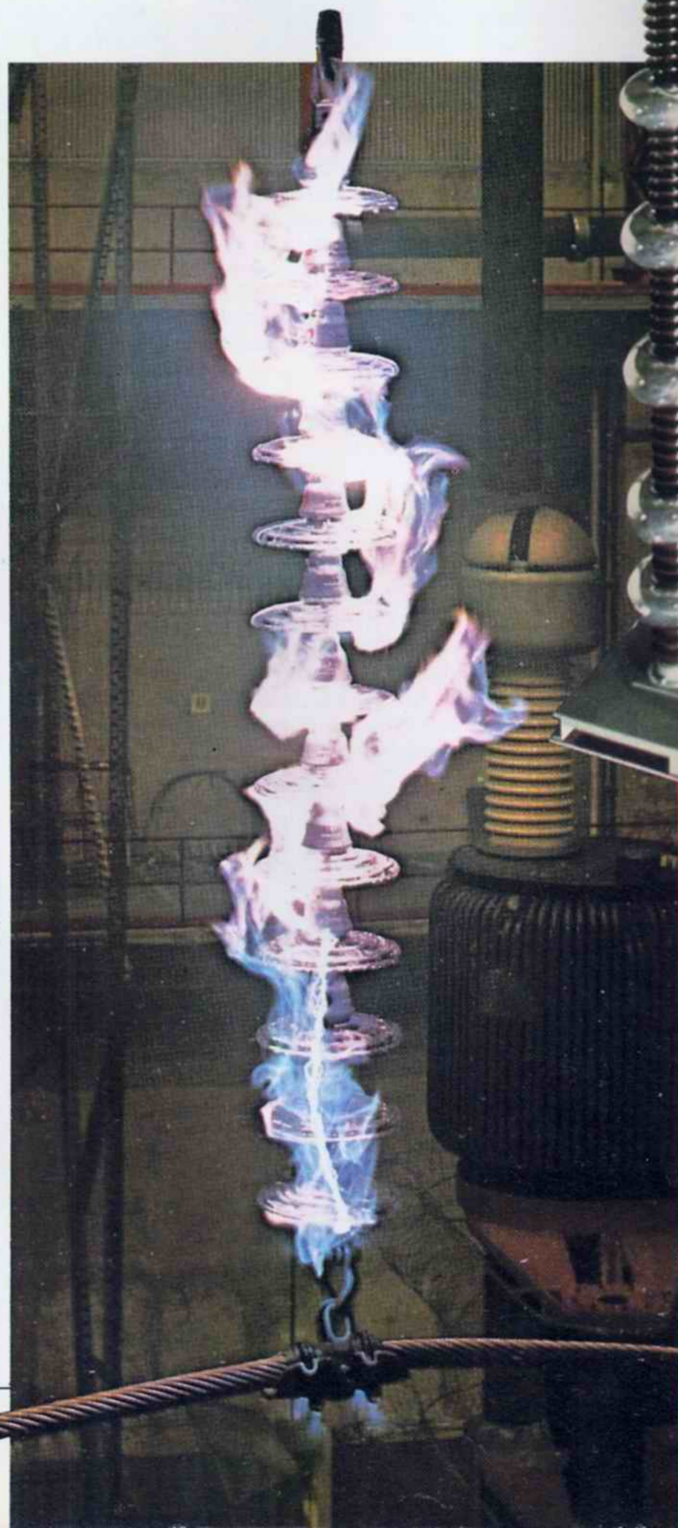



Polimer, División química Upjohn S.p.A.

# Electricidad

El fenómeno de la electricidad se ha descrito de muchas maneras. Se trata de un fenómeno natural que se manifiesta en los rayos, en la electricidad estática de los cuerpos, en los animales y en el hombre. En los organismos vivos la utilización más importante de la electricidad se produce en el sistema nervioso, ya que las órdenes que se transmiten por los nervios están formadas por impulsos eléctricos. Por su parte, el hombre ha utilizado esta forma de energía para producir luz y mover cualquier tipo de máquina.

La parte central del átomo, el núcleo, está formada principalmente por dos tipos de partículas: los protones, con carga positiva, y los neutrones, que no tienen carga eléctrica. Los electrones, que también son partículas del átomo, describen órbitas alrededor del núcleo y un átomo en condiciones de equilibrio tiene exactamente el mismo número de protones y electrones, con lo que el átomo no tiene en este caso carga eléctrica. Las órbitas que describen los electrones tienen distintas formas y amplitudes dependiendo del nivel energético que posean. Por ejemplo, un átomo de carbono tiene 6 protones y sus 6 electrones se mueven en dos niveles energéticos, estando dos electrones en el primero y cuatro en el segundo. El cobre, con 29 protones e igual número de electrones, tiene 2 electrones en el primer nivel, 8 en el segundo, 18 en el tercero y 1 en el cuarto. El primer nivel puede tener como máximo 2 electrones, el segundo puede tener 8, el tercero 18 y así sucesivamente siguiendo un orden determinado. En el cobre, el electrón 29 tiene que ocupar el cuarto nivel y, debido a que su unión con el núcleo es menos fuerte, se



La luz emitida durante una prueba de descarga en una cadena de aisladores da una idea de la potencia casi mágica de la electricidad, aspecto de la materia que se ha convertido en protagonista insustituible de nuestra vida cotidiana. Electricidad es la débil carga que se acumula en un paño frotado enérgicamente, pero puede también demostrar toda su fuerza en máquinas como el acelerador de Cockcroft-Walton, capaz de acelerar partículas con una energía de algunos millones de electrón-voltios.

Aquí debajo está ilustrado un electroscopio de panes de oro. Se trata de un instrumento construido con dos panes de oro unidos a través de un conductor al extremo de una barra metálica. El sistema está unido a una bola metálica y sujeto a un soporte aislante. Cuando la bola recibe cargas eléctricas, las laminillas se cargan con el mismo signo y se separan. A la derecha, la secuencia de dibujos ilustra las líneas del campo eléctrico en tres casos. Arriba está el caso de una única carga positiva, con líneas de fuerza radiales desde el centro hacia el exterior, en el que se puede imaginar que la carga está rodeada por una esfera de signo negativo de radio infinito. Debajo está el caso de las líneas de fuerza entre dos cargas de signo opuesto, y en el último dibujo está representado el caso de las líneas de fuerza del campo generado por dos cargas del mismo signo.



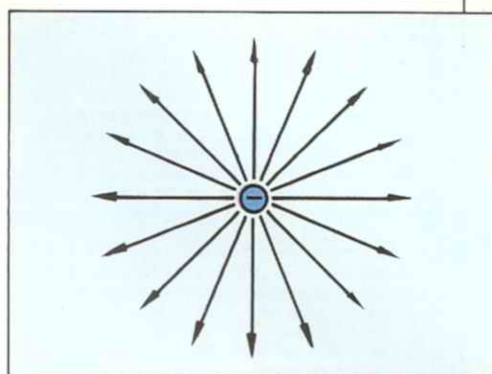
puede separar fácilmente del átomo, pasando a ser un electrón libre. Estos electrones libres son la base del flujo de corriente eléctrica en los conductores. Todos los metales tienen en sus niveles electrónicos externos electrones que se pueden liberar, por lo que en general son buenos conductores de la electricidad. Los electrones libres pueden circular como tales por la estructura atómica del material o estar en los átomos e ir saltando de uno a otro cuando exista alguna fuerza que los anime. Por tanto, cuando un generador provoca una corriente eléctrica en un material conductor, esta corriente no es más que un flujo de electrones que van pasando de un átomo a otro en dicho material.

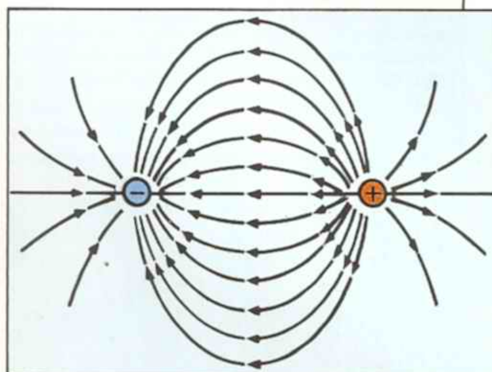
**Cargas positivas y negativas** Las expresiones "carga positiva" y "carga negativa" definen un tipo de energía potencial que se manifiesta en las relaciones entre un tipo de cargas y otro. En realidad no se conoce con precisión la naturaleza de esta propiedad, pero se conoce perfectamente su comportamiento y cómo aprovecharlo para aplicaciones prácticas. El comportamiento que caracteriza a las cargas eléctricas es el hecho de que cargas del mismo signo se rechazan, mientras que las cargas de signo opuesto se atraen. Este comportamiento es análogo al de los polos norte y sur de los imanes. Cuando se intenta acercar dos polos norte, éstos se oponen al acercamiento, mientras que un polo norte y uno sur experimentan una fuerte atracción.

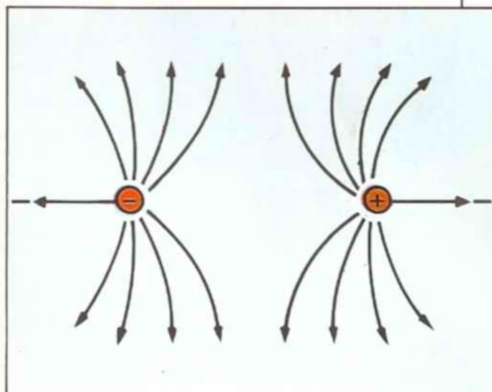
De una forma análoga, los electrones de un átomo, que tienen carga negativa, se mantienen en sus niveles electrónicos por la atracción que ejercen los protones del núcleo con su carga positiva. Por este motivo los electrones de los últimos niveles, más alejados de los protones y con menos fuerza de atracción, se pueden separar fácilmente del átomo. Una vez libre, el electrón se dirigirá hacia donde haya carga positiva, bien hacia algún protón aislado bien hacia algún átomo que tenga un balance de cargas positivo.

Electricidad y magnetismo están fuertemente relacionados, ya que el movimiento de cargas eléctricas produce un campo magnético a su alrededor. Otra relación importante se produce en la generación de corriente al someter a los electrones de un conductor a la acción de un campo magnético variable, o cuando se hace girar el elemento conductor dentro de un imán de polaridad fija. Este proceso de generación de corriente a través de la acción de fuerzas magnéticas se llama *inducción*.

**Tensión, intensidad y resistencia** El movimiento de electrones en los conductores se caracteriza con tres magnitudes: *tensión*, *intensidad* y *resistencia*. La tensión indica la fuerza electromotriz necesaria para que se produzca un flujo de electrones y se mantenga a lo largo del conductor. La tensión se puede comparar en cierto modo a la presión que hace circular el agua por el interior de las tuberías. La *corriente eléctrica* es el número de electrones que atraviesa una sección del conductor en la unidad de tiempo (un segundo). La unidad de medida que corresponde a esta magnitud es el *amperio*, normalmente representado con su letra A, que toma este nombre en honor del científico francés del siglo XIX André Marie Ampère. Puesto que la carga del electrón tiene un valor pequeño y sería muy complicado contar el gran número de electrones que atraviesa la sección cada vez que hubiera que realizar una medida, se utiliza una unidad de medida para la carga eléctrica más práctica, el *culombio*, nombre puesto en memoria del físico francés Charles-Augustin de Coulomb, quien estudió las cargas eléctricas y su cuantificación. Esta unidad de medida representa una carga positiva equivalente a la carga de $6{,}24 \times 10^{18}$ electrones. El *amperio* se puede definir en función de la unidad de medida de carga como la corriente que corresponde a un flujo de carga a través de una sección del conductor de 1 culombio en un tiempo de 1 segundo.

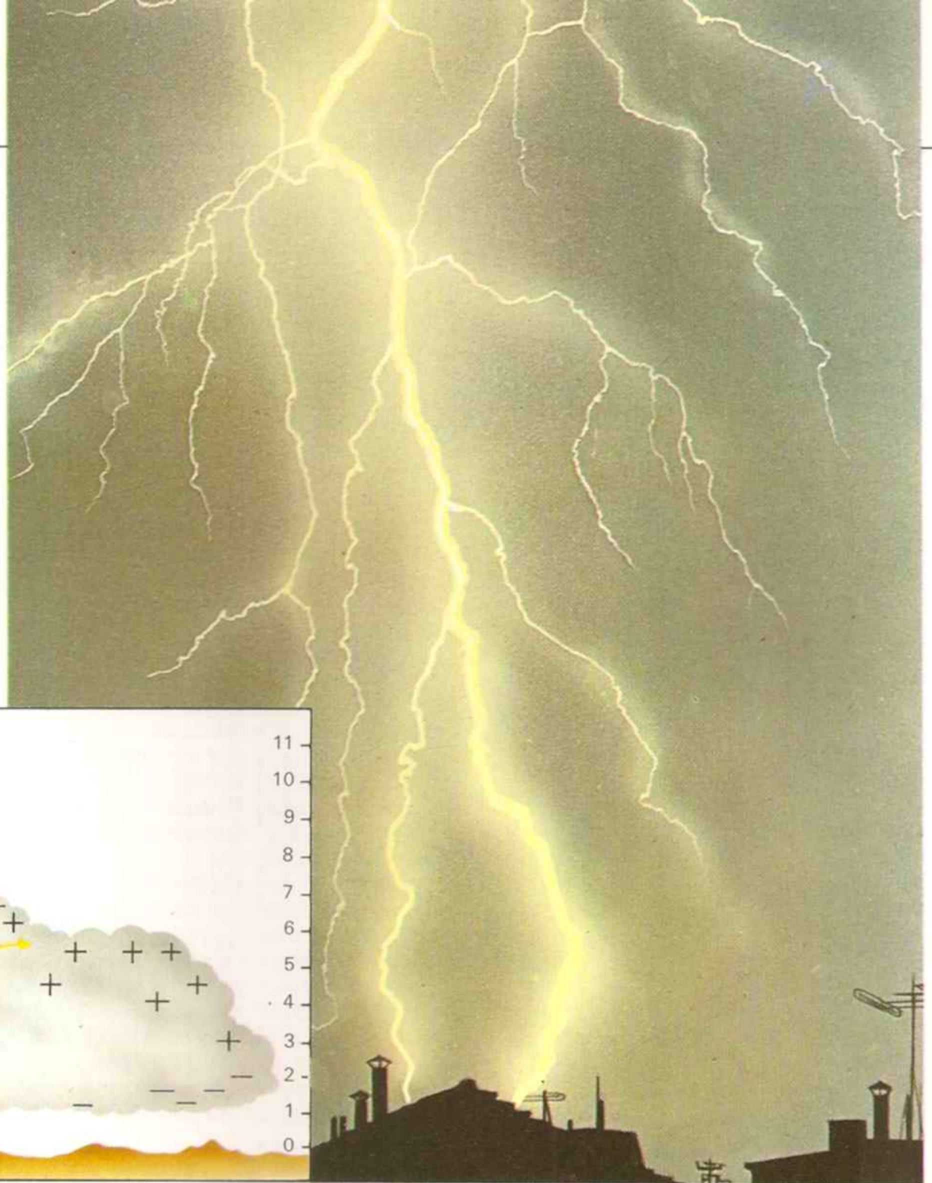


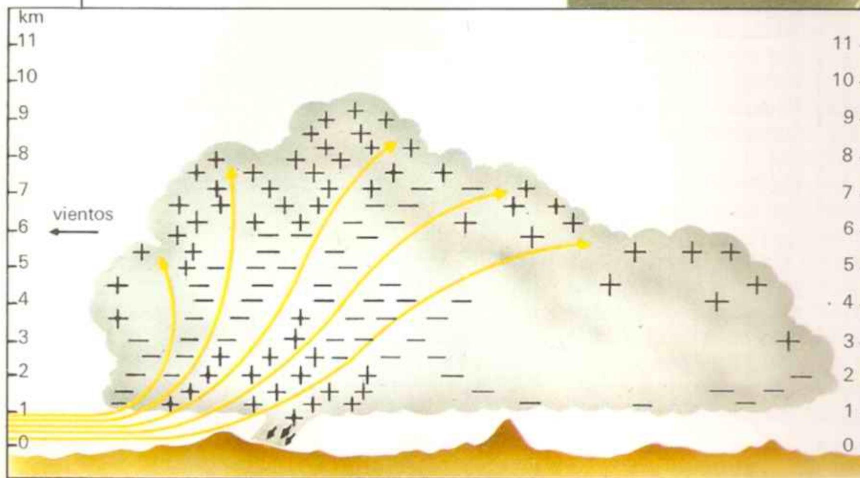




Todos los materiales conductores oponen una cierta resistencia al paso de las cargas eléctricas por su interior, de una forma análoga a la resistencia que oponen los materiales al viento. Los materiales que presentan poca resistencia son buenos conductores de corriente eléctrica, mientras que los que presentan una resistencia elevada conducen mal la electricidad, por lo que reciben el nombre de *materiales aislantes* y se utilizan para aislar los conductores del ambiente externo. George Ohm fue el primero que estudió y formuló los principios de la resistencia eléctrica, por lo que la unidad de medida de resistencia, el *ohmio* ($\Omega$), ha tomado su nombre. La ley de Ohm afirma que el valor V de la tensión aplicada a un conductor es igual al valor R de la resistencia del conductor por el valor I de la corriente que circula por él: $V = R \times I$. Por ejemplo, una fuerza electromotriz de 120 voltios

El rayo es una descarga eléctrica, una especie de chispa enorme que salta en determinadas condiciones de una nube a otra. El rayo es la manifestación más evidente y fascinante de la electricidad distribuida en la atmósfera y es el canal por el que se descargan las minúsculas partículas cargadas que saltan de una nube a otra o al suelo. En la foto de al lado se puede ver el aspecto sinuoso de un rayo cayendo sobre los tejados. Como la resistencia del aire no es constante, el flujo de partículas sigue siempre el camino de mínima resistencia, por lo que el recorrido del rayo nunca será recto y seguirá el camino que permita mejor el paso de las cargas. La descarga está formada por átomos de oxígeno, nitrógeno y argón ionizados, que al recombinarse con los electrones emiten la intensa luz que caracteriza a los rayos. En el dibujo de debajo vemos la disposición de las cargas eléctricas en una nube de tormenta. La flecha indica la dirección del viento.



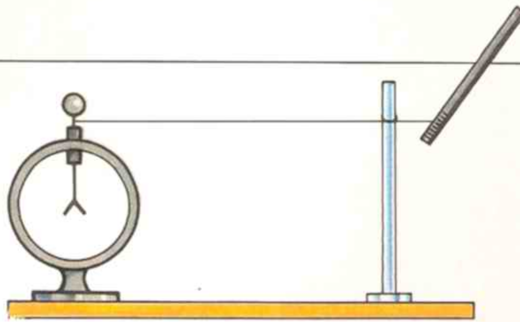



produce por el interior de un conductor de 12 ohmios una corriente de 10 amperios. Esta misma ley relaciona las tres unidades de medida correspondientes a la tensión, corriente y resistencia, ya que una tensión de 1 voltio produce una corriente de 1 amperio en una resistencia de 1 ohmio.

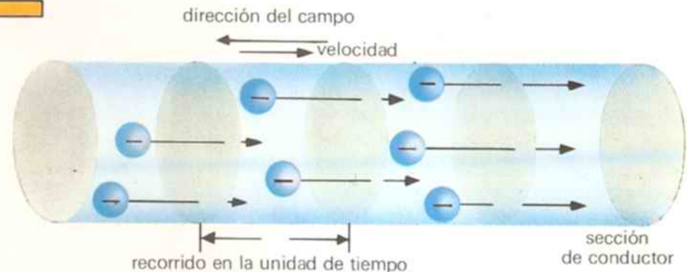
**Acumulación de cargas eléctricas** En 1745, en la Universidad de Leiden (Holanda), un grupo de científicos desarrolló un dispositivo muy útil compuesto por una botella de vidrio con las superficies interna y externa forradas con láminas conductoras. Una de las láminas se conectó a un cuerpo con carga eléctrica y la otra a "tierra" a través de un conductor, ya que la tierra tiene una carga uniforme y cualquier exceso o defecto en un lugar se distribuye uniformemente (se suele considerar que la "tierra" tiene tensión o potencial cero). La carga eléctrica acumulada en el cuerpo cargado no se podía descargar a tierra por la presencia del vidrio interpuesto entre ambas láminas. De esta forma la botella podía almacenar carga eléctrica cuya energía se podía utilizar posteriormente. La botella de Leiden es precursora del condensador, dispositivo formado por dos superficies metálicas (armaduras) enfrentadas y separadas por una fina capa de vidrio, aire u otro material aislante. En realidad la primera fisión de un átomo en 1930 se consiguió con un condensador que podía almacenar carga con una tensión de un millón de voltios. La fuerza de la descarga producida en un tubo de vidrio relleno de hidrógeno separó en dos el "blanco", formado por un átomo de litio. La propiedad que caracteriza a los condensadores es la capacidad, que relaciona la cantidad de carga que puede almacenar el dispositivo en una armadura con la diferencia de potencial entre ellas.

El fisiólogo italiano Luigi Galvani también encontró una forma de almacenamiento de energía eléctrica en sus estudios sobre las contracciones espasmódicas de las patas de rana separadas del cuerpo. Llevó a cabo un experimento con una tenaza que tenía una punta de hierro y otra de cobre, con las que tocaba el nervio y el músculo de la pata de rana. La pata se contraía con cada estímulo y Galvani estaba convencido de que el fenómeno era análogo al de las descargas eléctricas producidas por ciertos tipos de anguilas. Su amigo el físico Alessandro Volta le demostró que no era cierto y llegó a la conclusión de que se podía producir corriente eléctrica, causante de las contracciones, en los extremos de conductores metálicos distintos colocados en una solución de agua y sal. Volta llamó a este método de producir corriente *galvanismo* en honor de su amigo y llegó a la construcción de la primera pila eléctrica alternando discos de cobre y de hierro o cinc separados por un tejido impregnado en una solución salina. Este dispositivo, conocido como *pila de Volta*, genera corriente por el proceso electroquímico que se produce cuando los electrones emitidos por el hierro o el cinc, por acción electroquímica de la solución salina, se dirigen hacia el cobre. Este proceso se produce siempre que un aparato alimentado con una pila —como una linterna— se enciende, aunque los materiales utilizados en la fabricación de las pilas han sufrido una notable evolución.

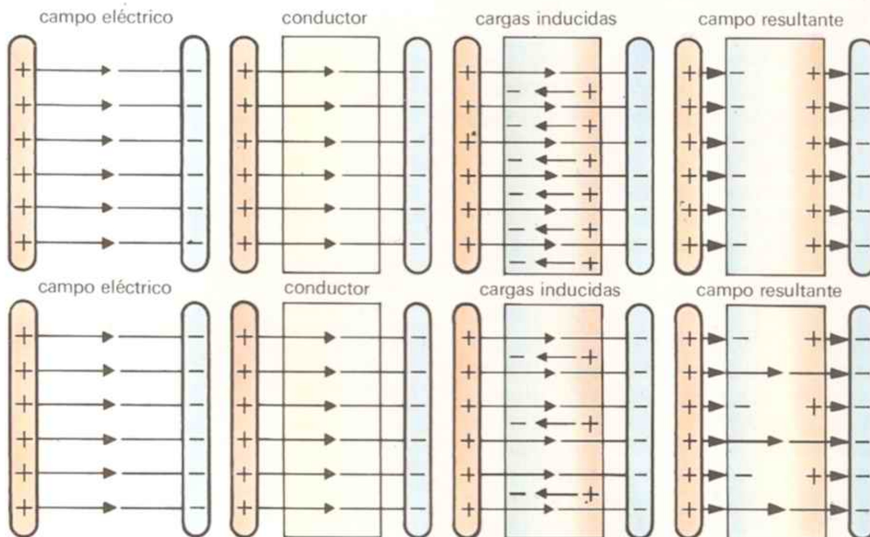
El *voltio*, unidad de medida del potencial eléctrico y de la fuerza electromotriz, recibe su nombre de Volta, pero Galvani tampoco ha sido olvidado. André Marie Ampère, primero que descubrió la corriente eléctrica como movimiento de cargas en un conductor, desarrolló un prototipo de aparato de medida para corrientes eléctricas basado en el principio de la atracción electromagnética que llamó *galvanómetro*.



El dibujo de al lado ilustra la propiedad conductora de un hilo de cobre. Si el hilo se sujeta por un extremo a la barra de un electroscopio y por el otro a un soporte de vidrio, uniendo una barra aislante cargada por frotamiento se produce un alejamiento de las láminas del electroscopio. Abajo, un esquema del paso de electrones por un hilo conductor.




Bajo estas líneas, el campo eléctrico resultante entre las dos armaduras planas de un condensador después de introducir un conductor (arriba) y un dieléctrico o aislante (abajo).



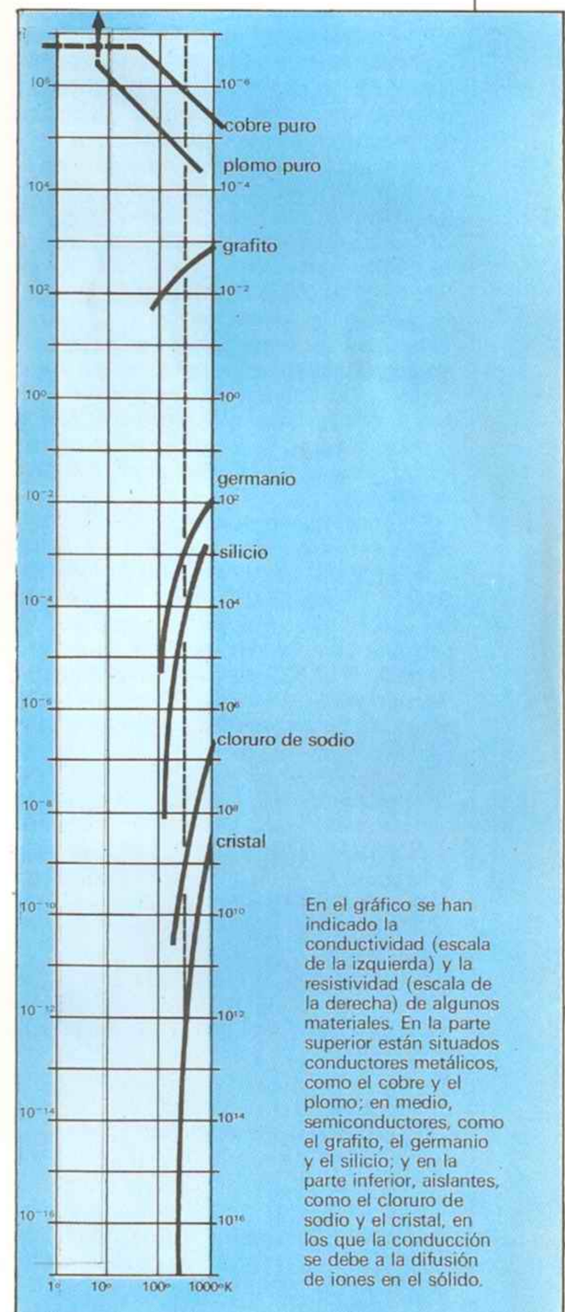

**Tipos de tensión y de corriente** Dependiendo de la forma en que se produzca la fuerza electromotriz, la corriente puede ser *continua* (en un solo sentido) o *alterna* (es decir, con un sentido que varía muchas veces por segundo). El científico serbocroata Nicola Tesla hizo posible la utilización de la corriente alterna, y su método de producción y distribución de este tipo de corriente se adoptó universalmente. La bobina de inducción que él inventó tomó el nombre de *bobina de Tesla*.

La corriente que se utiliza en los electrodomésticos suele ser alterna. En Estados Unidos la corriente alterna tiene una frecuencia de 60 hertz, o de 60 ciclos por segundo (significa que cambia su sentido 120 veces cada segundo), mientras que en Europa y la mayor parte de los países la frecuencia de la red es de 50 hertz o de 50 ciclos por segundo (equivalentes a 100 inversiones por segundo). El *hertz* es la unidad de medida de la frecuencia y corresponde a 1 ciclo por segundo (un ciclo equivale a dos inversiones).

Todas las baterías y algunos generadores (dínamos) proporcionan corriente continua. En cambio, los generadores que se basan en el principio de inducción electromagnética sobre una bobina que gira en un campo magnético producen corriente alterna, debido a que la bobina invierte la polaridad de la fuerza electromotriz inducida cada medio giro. Uno de estos tipos de generador utiliza un pequeño generador de corriente continua, llamado *excitador*, para producir la corriente necesaria para crear el campo magnético en un electroimán giratorio. Este campo magnético induce una corriente en las bobinas que lo rodean y que están fijas a la carcasa. Tal generador de corriente alterna con campo giratorio, que se utiliza para la producción de energía eléctrica en las centrales, recibe el nombre de *alternador*.

Existen distintos métodos de transformar la corriente eléctrica alterna en continua, con rectificadores que dejan pasar la corriente en el sentido deseado. Los reguladores pueden variar la tensión transformando la resistencia de un conductor o usando conductores de resistencia variable (resistores).

Véase **Circuito eléctrico; Condensadores y resistencias; ; Electrólisis; Electromagnetismo; Electroquímica; Energía eléctrica, producción de**




En el gráfico se han indicado la conductividad (escala de la izquierda) y la resistividad (escala de la derecha) de algunos materiales. En la parte superior están situados conductores metálicos, como el cobre y el plomo; en medio, semiconductores, como el grafito, el germanio y el silicio; y en la parte inferior, aislantes, como el cloruro de sodio y el cristal, en los que la conducción se debe a la difusión de iones en el sólido.

# Electricidad, instrumentos de medida

Para cuantificar y medir la electricidad se utilizan distintas magnitudes físicas con sus unidades de medida correspondientes.

La *corriente* eléctrica es el número de electrones que fluye a través de una sección de conductor en un determinado intervalo de tiempo (número de electrones por segundo) y su unidad de medida se llama *amperio*.

La unidad de medida de la *fuerza electromotriz* (f.e.m.) y de la *tensión* es el *voltio*.

La *resistencia eléctrica* es la propiedad de los materiales que impide en mayor o menor grado que los electrones circulen por su interior. Esta propiedad determina si el material es buen conductor o buen aislante y se mide en *ohmios*. La ley de Ohm fija la relación entre las tres unidades mencionadas: al aplicar una tensión de 1 voltio a una resistencia de 1 ohmio, circula una corriente de 1 amperio.

La tensión (diferencia de potencial), la corriente (flujo de cargas), la resistencia (oposición al paso de las cargas) y otras magnitudes que se utilizan en los circuitos eléctricos se pueden medir con aparatos especializados en la medida para la que han sido pensados. Sin embargo, existen aparatos que permiten realizar medidas de distintas magnitudes simplemente seleccionando la magnitud correspondiente en una escala, recibiendo por ello el nombre de *polímetros*.

La medida de magnitudes eléctricas en aparatos analógicos se hace en una escala graduada con los valores posibles, sobre la que se mueve la aguja que indica el valor medido. En los polímetros existen varias escalas graduadas y en distintas unidades.

La mayor parte de los aparatos de medida eléctricos tienen dos cables aislados que unen el cuerpo del aparato con los puntos de medida. Cuando se conectan los cables a los puntos bajo examen, se produce una desviación de la aguja a lo largo de la escala para indicar el valor correspondiente de voltios, amperios y ohmios. Algunos aparatos tienen por terminales conductores pequeñas placas metálicas que se atornillan a los puntos de medida.

**Funcionamiento de los aparatos de medida analógicos** La clave del funcionamiento de este tipo de instrumentos es el fenómeno *electromagnético* que se produce al circular corriente eléctrica en el interior de un campo magnético.

Cuando una corriente circula por un conductor, crea alrededor de éste un campo magnético, como en el caso del pequeño campo creado en un cable que conecta una lámpara a su enchufe o el campo mucho mayor que produce la corriente eléctrica intensa de un foco de gran potencia. Si el cable conductor se introduce en un campo magnético constante, por ejemplo el creado por los dos polos de un imán, el campo magnético generado por el conductor interacciona con el creado por el imán, produciéndose una fuerza que intenta mover el conductor, suponiendo que el imán está fijo. Los aparatos de medida aprovechan este fenómeno dejando una cierta libertad de movimiento al elemento conductor para poder conocer así la corriente que lo ha producido.

El instrumento en el que se basa una gran parte de los demás aparatos de medida es el *galvanómetro*, que mide corrientes, pudiendo llegar a la medida de valores muy pequeños (hasta $10^{-11}$ amperios).

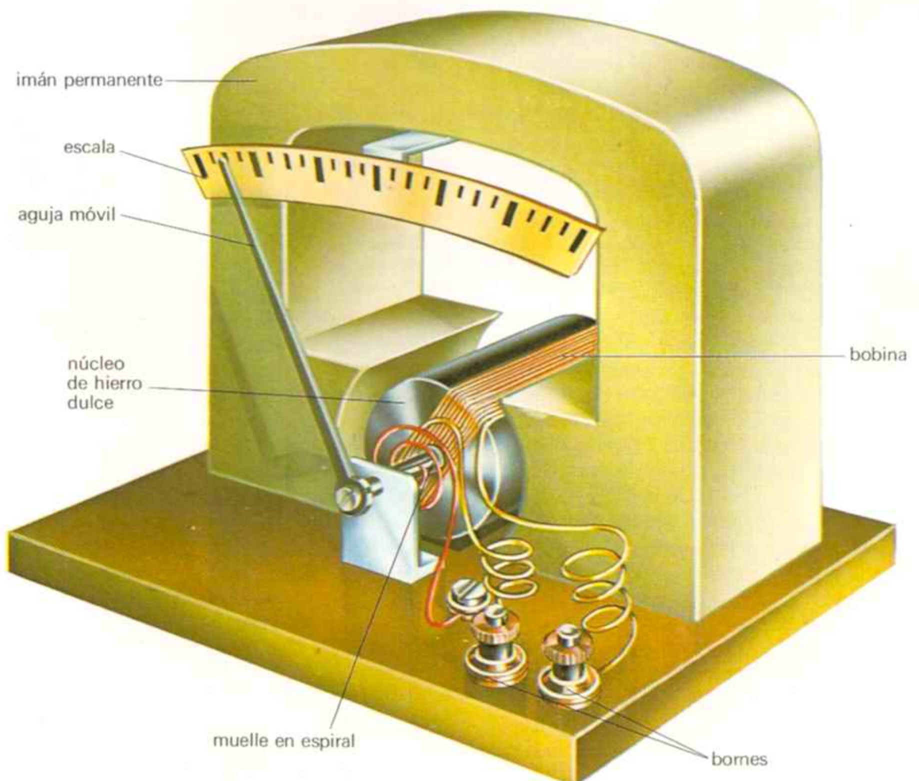
En este instrumento un imán con forma de herradura crea entre sus dos extremos enfrentados un campo magnético permanente. Entre estos dos polos se coloca un núcleo de hierro dulce que concentra el campo en una zona interna de la herradura. En esta zona se sitúa un bastidor rectangular, de forma que pueda girar, en el que se ha enrollado una bobina cuyos dos extremos se pueden conectar al exterior. Al circular corriente por la bobina se crea un campo magnético que por oposición con el campo magnético permanente hace que el bastidor o cuadro intente girar. Para evitar que gire siempre hasta el máximo punto existe un muelle en espiral que contrarresta la fuerza de desviación con su fuerza elástica y hace que se llegue a un punto de equilibrio que depende de la fuerza de desviación y por tanto de la corriente por la bobina. Si se coloca una aguja que gire a la vez que el cuadro, se puede saber si la corriente que circula es mayor o menor observando la desviación proporcional de la aguja. Para conocer los valores de corriente con respecto a la unidad de medida, el amperio, se puede graduar la escala utilizando corrientes conocidas como referencia.

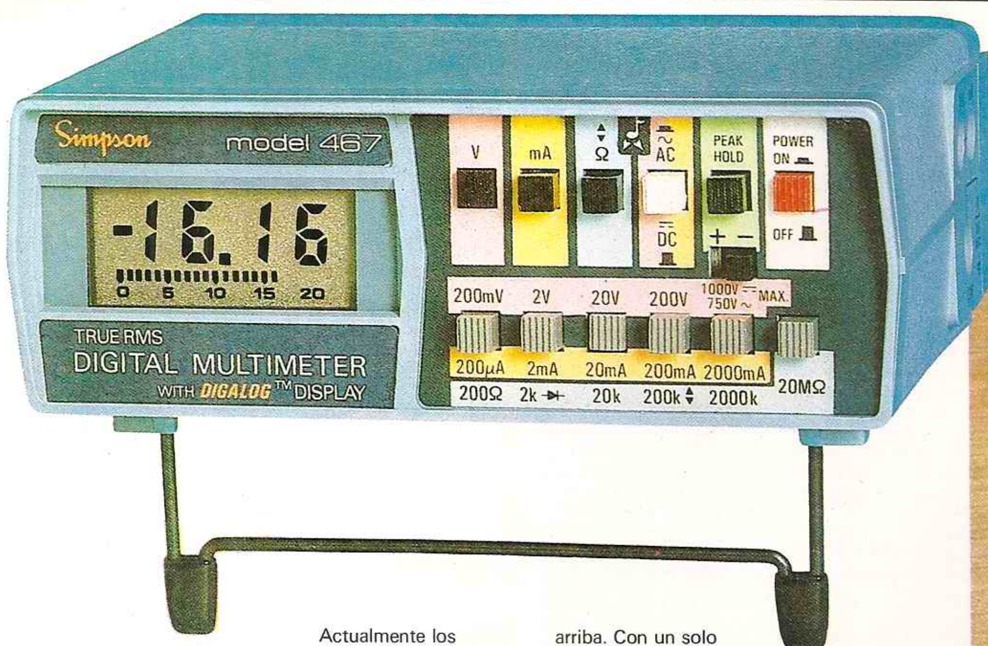
Este aparato de medida recibe el nombre de *galvanómetro de cuadro móvil* o *de D'Arsonval*.

**Tipos de medida** Hasta ahora hemos hablado únicamente del galvanómetro, aparato utilizado para la medida de corrientes que circulan siempre en el mismo sentido, es decir, *corrientes continuas*. En muchas aplicaciones se utiliza *corriente alterna*, o sea, corriente que cambia su sentido de circulación de forma periódica varias veces por segundo. Para medir este tipo de corrientes con un galvanómetro, se transforman de forma proporcional en corrientes continuas con un *rectificador*, que puede estar formado por uno o varios diodos para dejar que pase la corriente en un único sentido.

Cuando se quieren medir corrientes grandes (alternas o continuas) con un galvanómetro que no las admite, se coloca una resistencia de valor conocido en paralelo con la bobina del galvanómetro, es decir, con cada uno de sus extremos unidos a cada uno de los hilos del galvanómetro. De esta forma una gran parte de la corriente se desvía por la resistencia y con la pequeña parte que pasa por la bo-

En la figura de abajo, amperímetro de corriente continua. La corriente eléctrica cuya intensidad se quiere medir entra por uno de los bornes, pasa a través de la bobina móvil y la magnetiza. La bobina, situada en el centro del campo magnético creado por el imán permanente, experimenta una cierta rotación que se transmite a la aguja indicadora. Esta se mueve sobre la escala para dar el valor de la intensidad. Las corrientes que puede medir un amperímetro de corriente continua van desde algunos microamperios hasta miles de amperios, utilizando *shunt*.






Actualmente los aparatos de medición eléctrica están siendo sustituidos cada vez más por los polímetros digitales, como el de arriba. Con un solo instrumento se pueden medir tensiones, intensidades de corriente y resistencias con gran precisión y → sensibilidad. Además la lectura de las medidas se obtiene directamente en un *display* o con una señal acústica. Los polímetros de este tipo, además de en las operaciones normales de asistencia técnica y reparaciones, encuentran aplicación en las industrias para control de instalaciones y en los laboratorios de investigación.



bina se puede realizar la medida. El montaje con la resistencia se llama *shunt* y en la práctica se utilizan varias resistencias, que se pueden seleccionar con un conmutador, para poder tener distintas escalas de medida.

Los *amperímetros* son aparatos de medida formados por un galvanómetro y un rectificador, con los que se pueden hacer medidas de corriente continua y alterna. A veces llevan también incorporado un *shunt* para poder realizar medidas en un gran margen de valores, en cuyo caso se tienen también varias escalas graduadas. Los amperímetros se conectan en los circuitos para hacer la medida en *serie*, es decir, se abre el circuito por donde pasa la corriente a medir y se coloca el amperímetro, obligando a que la corriente pase a través de él.

Existe otra manera de medir corrientes: con un aparato llamado *amperímetro de tenaza*, que tiene una pinza de hierro que rodea al conductor por el que circula la corriente. Su funcionamiento se basa en el campo magnético proporcional a la corriente que se crea alrededor del hilo conductor. El aparato mide los efectos que este campo magnético crea en su tenaza y, en consecuencia, la corriente. El amperímetro de tenaza tiene sobre el galvanómetro la gran ventaja de que no hace falta cortar para hacer la medida, pero sólo puede medir corrientes grandes, de varios amperios en adelante.

Los *voltímetros* se utilizan para medir tensiones (diferencias de potencial) y funcionan aprovechando la relación que establece la ley de Ohm entre éstas y las corrientes correspondientes. Los voltímetros en realidad miden la corriente que circula por una resistencia de valor conocido, ya que la tensión se puede conocer a través de la corriente con la mencionada ley: $V = R \times I$. Igual que los amperímetros, los voltímetros de corriente alterna tienen un rectificador para convertir la señal alterna en una continua de valor proporcional. Además pueden tener varias resistencias colocadas en serie con la bobina formando un *shunt* para poder medir con ellas un rango de valores amplio en distintas escalas.

La medida de una tensión con un voltímetro se realiza colocando las puntas de prueba en paralelo con el dispositivo entre cuyas bornas se quiere conocer la tensión, es decir, colocándolas en los dos puntos entre los que hay una diferencia de potencial. En esta medida no es necesario alterar el circuito, lo que hace que las tensiones se empleen, a efectos de medidas, mucho más que las corrientes, por ser más cómodas.

A diferencia de los amperímetros y voltímetros, los *óhmetros* (que miden resistencias eléctricas en ohmios) tienen que tener una fuente de energía disponible, que suele ser una pila para que el aparato se pueda transportar. Este instrumento de medida tiene entre sus puntas de prueba una diferencia de potencial y al aplicar éstas a los dos puntos entre los que se quiere medir la resistencia circula una corriente de una punta a la otra. De esta forma se puede medir la corriente con una tensión conocida y por tanto saber la relación $V/I$, que es la resistencia eléctrica.

La medición de una resistencia se realiza siempre sobre el dispositivo sin que esté conectado a una fuente de energía eléctrica, porque en este caso, si el aparato no se estropea, la corriente medida no sería la creada por la diferencia de potencial del aparato y la medida sería falsa. Además se deben medir los dispositivos fuera de su circuito, ya que en éste puede existir un camino para la corriente, con una determinada resistencia, entre los dos terminales del dispositivo que se está midiendo y, al estar en paralelo con el dispositivo, varía la medida de resistencia.

**Aparatos de medida digitales** En los últimos años se han desarrollado extraordinariamente las técnicas digitales, alcanzando también a los aparatos de medida. Este tipo de aparatos presenta el valor de la medida realizada en una pequeña pantalla numérica, por lo que, como primera ventaja, estos instrumentos son mucho menos delicados en cuanto a transporte, por no tener ningún elemento móvil que se pueda desajustar. Además pueden obtener el valor de las medidas con mayor precisión por estar construidos con circuitos más elaborados y presentar estos valores también de forma precisa y cómoda, ya que el valor numérico se puede leer directamente. Tienen el pequeño inconveniente de necesitar una pila o fuente de alimentación para todas las medidas que realizan, ya que sus circuitos son activos y necesitan una alimentación constante para llevar a cabo sus funciones.

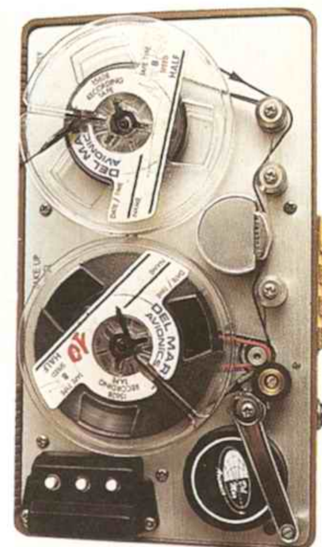
Las mediciones con los aparatos de medida digitales se realizan de la misma forma que con los analógicos, es decir, las tensiones se miden en paralelo, las corrientes en serie y las resistencias aplicando las puntas de prueba a los extremos del dispositivo a medir. Al igual que en los aparatos de medida analógicos, existen aparatos digitales que pueden medir tensiones, corrientes y resistencias seleccionando la magnitud en un teclado, y que reciben el nombre de *polímetros digitales*.

Véase **Bobina eléctrica; Campo magnético; Electricidad; Electromagnetismo; Magnetismo**

# Electrocardiografía

A finales del siglo XVIII, el científico italiano Luigi Galvani descubrió que un músculo vivo se contraía en respuesta a una débil corriente eléctrica. En nuestros días, se sabe que esas corrientes desencadenan una serie de reacciones bioquímicas que hacen posible el funcionamiento de los músculos. Las corrientes más intensas que pueden apreciarse en el cuerpo humano son las que provocan las contracciones musculares del corazón; aumentan y disminuyen éstas según el ritmo cardíaco y se difunden por todo el cuerpo. El potencial eléctrico de la piel se comporta como aislante eléctrico, impidiendo que las citadas corrientes se perciban en el exterior del organismo. Sin embargo, cuando se colocan sobre la piel unas placas de conductores eléctricos en forma de disco (*electrodos*), estableciendo el contacto mediante una sustancia también conductora, el poder aislante de la piel se reduce considerablemente, hasta el punto de permitir que esas pequeñas corrientes puedan ser detectadas desde el exterior. Esas débiles corrientes son posteriormente amplificadas y puestas de manifiesto mediante el electrocardiógrafo (ECG); dicho instrumento traduce los impulsos eléctricos en un trazado, denominado *electrocardiograma*, que también suele abreviarse como ECG.





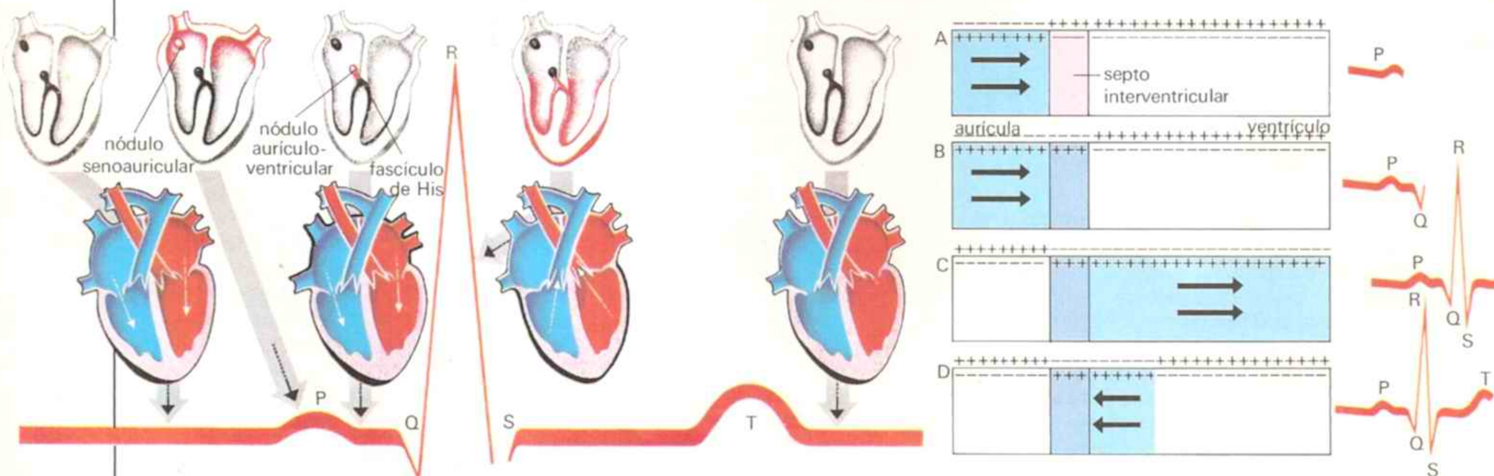

Durante el ciclo cardíaco se diferencian tres fases fundamentales: la sístole auricular, la sístole ventricular y la diástole. En la parte inferior, a la izquierda, relación existente entre los fenómenos eléctricos (arriba) y los fenómenos mecánicos (abajo). Si en el corazón no tiene lugar ningún fenómeno (tejido de conducción en negro), aparece la línea isoeléctrica en el trazado. El estímulo se origina en el nódulo senoatrial y desde ahí se difunde a las →

**El electrocardiógrafo** El primer electrocardiógrafo, inventado por Augustus Maller en 1887, era conocido con el nombre de *electrómetro capilar*. Dos hilos, o conductores aislados, eran conectados a electrodos colocados sobre diversas partes del organismo. El extremo de un hilo entraba en la parte superior de un pequeño tubo de vidrio lleno de ácido sulfúrico. Este tubo, que contenía el ácido, estaba adosado a un pequeño recipiente que contenía mercurio, el cual, a su vez, se unía al segundo conductor. Las distintas corrientes eléctricas del corazón provocaban que la zona de contacto entre el ácido sulfúrico y el mercurio aumentase y disminuyese con cada latido cardíaco. Mientras la columna de mercurio se movía, un haz de luz situado detrás proyectaba la sombra del mercurio sobre una lámina móvil sensible a la luz. La forma de la columna de mercurio que se podía observar en la imagen de la lámina proporcionaba una representación de la actividad eléctrica del corazón.

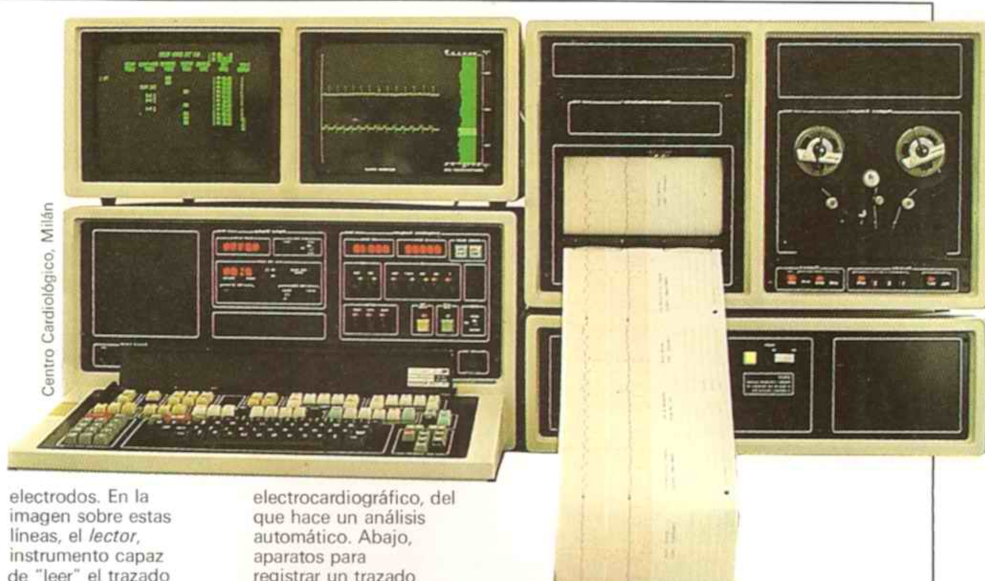
Esta imagen se perfeccionó considerablemente en 1903, cuando el fisiólogo de origen neerlandés Willem Einthoven adaptó un instrumento, conocido como *galvanómetro de cuerda*, al registro del electrocardiograma. El galvanómetro de cuerda consistía en una fibra de cuarzo plateada colocada en un campo magnético. Cada uno de los dos extremos de la fibra se unía a unos conductores procedentes del cuerpo. Debido a que era mucho más ligera que el mercurio, la fibra de cuarzo reaccionaba mucho mejor a las corrientes eléctricas, proporcionando una imagen más detallada de las variaciones de electricidad. El movimiento de la fibra era amplificado por un haz de luz que proyectaba una sombra aumentada de tamaño. Esta sombra incidía sobre una película en movimiento y se revelaba como una línea oscura parecida a la de los modernos electrocardiogramas. Precisamente por sus trabajos sobre la construcción y utilización del electrocardiógrafo, Einthoven recibió, en 1924, el premio Nobel de Medicina.

**El electrocardiograma** Los electrocardiogramas se registran en unos papeles milimetrados provistos de una graduación vertical que mide el voltaje, y de una graduación horizontal que representa el tiempo. Los electrocardiogramas pueden, por este motivo, cambiar de forma según la velocidad con que se mueve el papel de registro. Para unificar criterios de una manera universal en los ECG, los registros se han estandarizado de manera que la velocidad con que corre el papel es siempre de 25 milímetros por segundo, y un milivoltio origina 10 milímetros de desviación en sentido vertical. El aspecto que presenta un ECG propiamente dicho está constituido por una serie de ondas, señaladas en varios puntos por Einthoven con las letras P, Q, R, S, y T, las cuales poseen dimensiones características. Los "lectores de electrocardiogramas" asocian las diversas ondas a las contracciones de las cavidades superiores o inferiores del corazón.

El trazado electrocardiográfico es ligeramente diferente en cada uno de los registros efectuados con distintas colocacio-



aurículas, formándose la onda P del electrocardiograma. El estímulo se transmite al nódulo auriculoventricular y al fascículo de His, y en ese momento aparece el segmento P-Q en el trazado electrocardiográfico. La onda QRS corresponde al recorrido del estímulo a lo largo de las ramas derecha e izquierda del fascículo de His y a su difusión a los ventrículos. Durante el segmento S-T no se generan nuevos impulsos eléctricos. La onda T señala el retorno al estado de reposo de los ventrículos. El corazón vuelve a comenzar su ciclo. En la página anterior, abajo, a la derecha: en A), excitación de la aurícula; en B), el estímulo atraviesa el fascículo de His; en C), excitación de los ventrículos; en D), retorno al estado de reposo. El control de la actividad cardíaca es tanto más significativo cuanto más prolongado sea el tiempo de registro: un registro electrocardiográfico que funcione durante las 24 horas del día permite poner de manifiesto la presencia de trastornos del ritmo cardíaco. En la página anterior, arriba, un aparato que permite registrar, ininterrumpidamente, el electrocardiograma. El instrumento se fija al cuerpo del paciente mediante unos electrodos. En la imagen sobre estas líneas, el *lector*, instrumento capaz de "leer" el trazado electrocardiográfico, del que hace un análisis automático. Abajo, aparatos para registrar un trazado electrocardiográfico durante un esfuerzo. Son visibles los registradores de los varios parámetros, el trazado y un monitor para apreciar las características electrocardiográficas. Mediante este método es posible detectar alteraciones de las arterias coronarias, no diagnosticables por otros métodos.


Centro Cardiológico, Milán

nes de los electrodos. La línea electrocardiográfica del registro asciende cuando la electricidad del corazón se dirige hacia el electrodo registrador, y desciende cuando sucede el fenómeno contrario. Sabiendo qué posiciones del electrodo registrador corresponden a determinadas partes del corazón, es posible obtener muchas informaciones sobre las condiciones generales de dicho órgano. Pueden obtenerse, en efecto, informaciones sobre el ritmo y la frecuencia de los latidos cardíacos, sobre el sistema de conducción eléctrica del corazón, sobre posibles agrandamientos de partes del corazón y sobre lesiones debidas a infarto.






**La electrocardiografía moderna** La aplicación de la electrónica ha hecho posible la realización de electrocardiógrafos altamente sofisticados. Las corrientes eléctricas pueden ser transmitidas al terminal de un ordenador y ser observadas en un vídeo (monitor). Este último tipo de representación es frecuentemente utilizado en los hospitales para controlar a los pacientes enfermos del corazón o a pacientes que han sido operados recientemente o que se encuentran en estado grave. Sin embargo, dicho tipo de representación del ECG no se utiliza cuando el médico necesita un registro permanente para ser estudiado. Tales registros pueden ser realizados por un electrocardiógrafo que traza un surco sobre un papel especial o que deja una línea curva trazada con una pluma muy fina. Otro tipo de ECG puede ser registrado en una cinta magnética, tal como se utiliza en los electrocardiógrafos portátiles que funcionan las 24 horas en el cuerpo del paciente. Este sistema proporciona al médico una representación del comportamiento del corazón durante la vida cotidiana del paciente. En algunos casos se recomienda que el paciente lleve un diario donde anote sus actividades hora a hora.





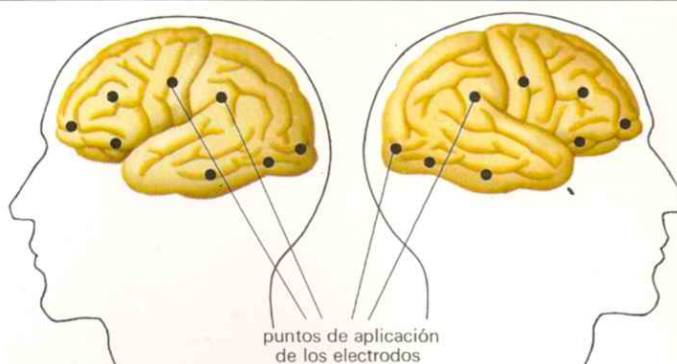
Véase **Corazón**

# Electroencefalografía

La telepatía, la premonición y otros tipos de "energía psíquica" pueden ser considerados por algunos fuera del alcance de la investigación científica; sin embargo, la relación existente entre los acontecimientos psíquicos y los procesos fisiológicos es fascinante y hasta el presente no está bien determinada.

Mientras trataba de establecer una relación objetiva entre los dos procesos, un atento y solitario psiquiatra alemán, Hans Berger, descubrió las ondas cerebrales del hombre. Berger se dio cuenta de que los electroencefalogramas, es decir, los registros de estas ondas, no explicaban la relación que él buscaba, pero a pesar de ello su descubrimiento ha llegado a ser una inestimable ayuda para la Medicina.

Los complejos haces de células nerviosas de la sustancia gris más superficial del cerebro, la denominada *corteza cerebral*, producen y a su vez son estimuladas por pequeñas corrientes eléctricas que crean un campo eléctrico justamente debajo de los huesos craneales. Habitualmente, el cráneo y la piel aislan esa electricidad, impidiendo su manifestación en el exterior. Sin embargo, con un instrumento adecuado, llamado *electroencefalógrafo* (EEG), es posible registrar dicha actividad eléctrica bajo forma de líneas onduladas o entrecortadas trazadas sobre un papel: los *electroencefalogramas de Berger* (también abreviado como EEG).



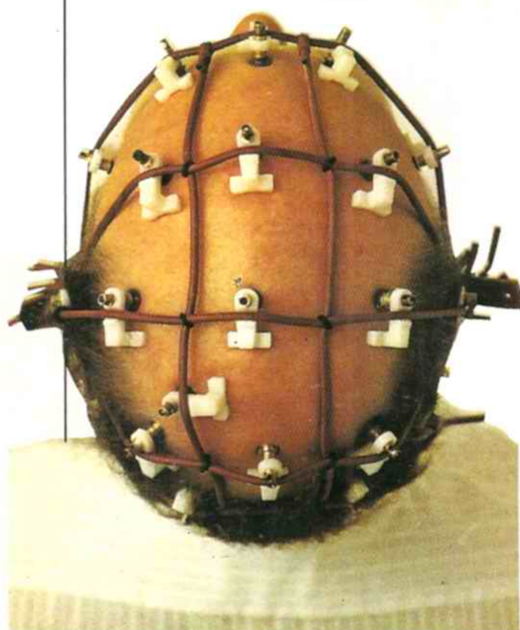

El electroencefalógrado ha permitido analizar la actividad cerebral y diagnosticar la presencia de eventuales alteraciones. Resulta, en consecuencia, particularmente importante poder identificar con exactitud la zona de la lesión. Por esa razón se utiliza el método indicado en la figura, donde se representan las distintas posiciones en las que se fijan los electrodos con relación a las zonas cerebrales prefijadas.

En la parte central de la página siguiente, electroencefalógrafo móvil con diferentes selectores, para conseguir distintas combinaciones entre las diversas derivaciones. De este modo se amplían enormemente las posibilidades del aparato y se pueden explorar más zonas de la corteza, llegándose a determinar con exactitud variaciones presentes en las diferentes áreas corticales. La utilización de la investigación electroencefalográfica es especialmente útil en los casos de epilepsia.

**La utilización de la EEG en la Medicina** Los médicos utilizan la electroencefalografía para facilitar el diagnóstico de trastornos cerebrales debidos a golpes, tumores, epilepsia y muerte cerebral, aparte de enfermedades que afectan al sistema nervioso central, como la distrofia muscular o la intoxicación alcohólica.

Los electroencefalogramas se realizan también con la finalidad de distinguir entre trastornos psicológicos y neurológicos. Por ejemplo, un paciente que tenga convulsiones similares a las provocadas por la epilepsia es sometido a una prueba de electroencefalografía. Si la lectura del electroencefalograma es normal, un médico puede utilizar esta prueba para diagnosticar un trastorno psicológico, como la histeria, que no influye en el electroencefalograma, frente a una condición neurológica como la epilepsia, que origina electroencefalogramas anormales. Sin embargo, y debido a que no es capaz de revelar alteraciones de las partes más profundas del cerebro, el electroencefalograma no puede ser considerado como una prueba neurológica decisiva. Su utilización está limitada a la ayuda diagnóstica.

Tipos especiales de electroencefalogramas aislan parcialmente ciertos nervios, como el nervio óptico o el nervio acústico, para controlar su funcionalidad. Se colocan los electrodos en la parte posterior de la cabeza, en los puntos que están directamente sobre aquellas partes del cerebro que elaboran los estímulos visuales. Posteriormente se envían unos destellos a los ojos del sujeto mediante una luz o un estroboscopio. La respuesta registrada por los electrodos puede proporcionar informaciones sobre las condiciones de los ojos, de los nervios ópticos y de las zonas del cerebro que están en relación con la visión. Este tipo de pruebas se denominan *potenciales evocados* y se utilizan para diagnosticar lesiones neurológicas específicas.



**El electroencefalógrafo** El electroencefalógrafo utiliza electrodos en forma de disco de plata (conductores eléctricos), habitualmente en número de 20, colocados en distintos puntos del cráneo. Esos electrodos son capaces de captar las corrientes eléctricas que alcanzan la piel desde la corteza cerebral y envían estas minúsculas corrientes mediante unos cables, los conductores. Cada conductor alimenta una salida separada (denominada *canal*) de un amplificador. Desde el amplificador las corrientes procedentes de cada uno de los canales se hacen pasar a través de un dispositivo principal de registro que es capaz de representar simultáneamente los impulsos de llegada de distintos electrodos. Cada canal de este dispositivo consiste de ordinario en una pluma unida a una bobina colocada en un campo magnético. Mediante los aumentos y disminuciones del voltaje en el interior de la bobina, ésta y la pluma son atraídas hacia adelante y hacia atrás entre los polos norte y sur del campo magnético; de ese modo la pluma "escribe" en un papel que se mueve en sentido horizontal debajo de la misma. Debido a que existen ocho o más canales y sus plumas correspondientes, el resultado es un trazado sobre el papel de diversas líneas onduladas paralelas. Otros dispositivos de registro comprenden una impresora, a la que se envía tinta desde un pequeño recipiente, y una punta registradora. De esta manera se construye un trazado sobre la bobina de papel móvil.

**El electroencefalograma** Los electroencefalogramas se registran en un papel milimetrado con un eje vertical que viene medido en incrementos que repre-



sentan ciertas cantidades de voltaje eléctrico. El eje horizontal se mide según el tiempo. La mayoría de los electroencefalogramas son bastante largos, llegando a las 150 páginas: cada página representa 10 segundos de tiempo.

Existen cuatro grandes tipos de ondas o ritmos cerebrales eléctricos: alfa, beta, delta y teta. Las ondas que se elevan y descienden regularmente, típicas del ritmo *alfa*, se registran en los sujetos que están en condiciones de relajación, con los ojos cerrados. Las ondas más veloces, de menor amplitud, son las *beta*, que se observan también en los sujetos normales, si bien es posible que el sujeto se encuentre excitado o ansioso.

Las ondas *delta* y *teta* se producen en niños y adultos normales dormidos, pero son signo de anomalías en los adultos en la fase de vigilia. La lenta y alta onda delta es similar a una onda alfa que haya sido "deformada y estirada como una goma de mascar entre los dientes". Sus desplazamientos verticales son mayores y la distancia entre las ondas es más larga.

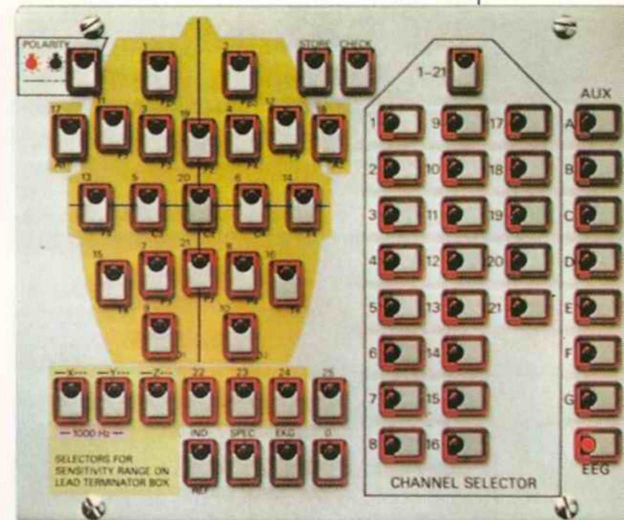
Las ondas teta tienen una frecuencia ligeramente superior a la de las ondas delta. En general, las ondas lentas de gran amplitud pueden ser anormales. Ejemplos extremos son las ondas lentas y de gran amplitud denominadas *puntas* u ondas *triangulares* típicas de la epilepsia.

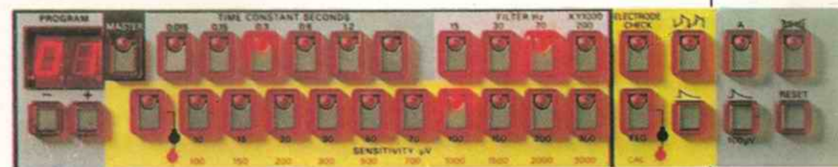
El electroencefalograma más anormal es el plano, y denota la ausencia de actividad eléctrica en la corteza del cerebro, lo que indica la muerte cerebral.

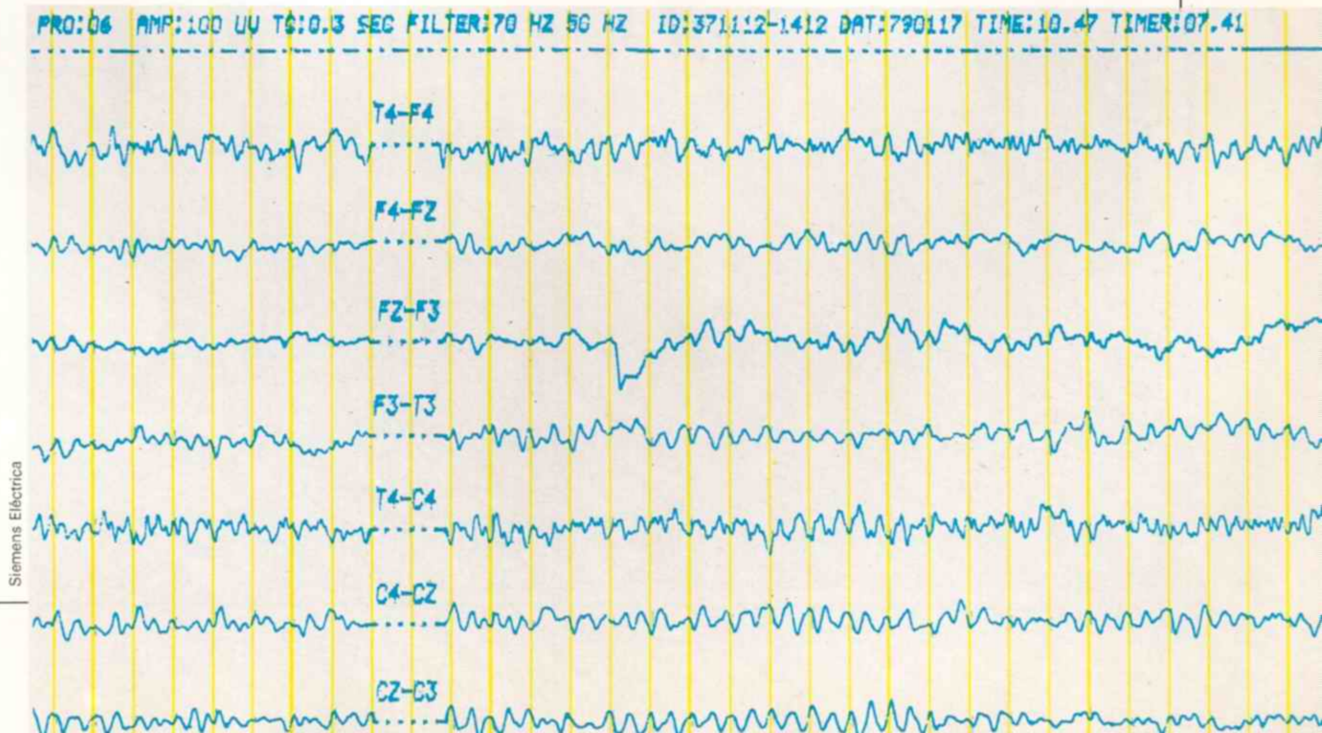
Véase **Cerebro**



Siemens Eléctrica




Se indican aquí tres momentos esenciales de una investigación electroencefalográfica: en la página anterior aparece la disposición de los electrodos fijados en la cabeza mediante un apósito en forma de gorro que garantiza la posición sin ocasionar ningún trastorno al paciente, y que permite además una rápida definición mediante la utilización del instrumento que se ve a su derecha, el cual asocia la posición de los electrodos en el cráneo, a través de 10-20 complejos sistemas, y amplifica las señales, permitiendo su transmisión a distancia. En esta página, a la derecha, electroencefalograma.

Siemens Eléctrica

# Electroforesis

La labor diagnóstica de la Medicina moderna está muy a menudo basada en la identificación de cantidades infinitesimales de algunos compuestos químicos en la sangre circulante. Por ejemplo: al encontrar un determinado enzima en la muestra de sangre de un paciente, los médicos pueden afirmar que éste ha sufrido un ligero ataque al corazón y actuar así en consecuencia para evitar un ataque más serio. En la actualidad, los investigadores médicos y los técnicos utilizan una serie de procesos distintos para separar y analizar los diversos componentes de una muestra líquida. Hacia 1930 el químico sueco Arne Tiselius aportó a la ciencia una de estas técnicas desarrollando la *electroforesis*, por lo cual se le concedió el Premio Nobel en 1948.

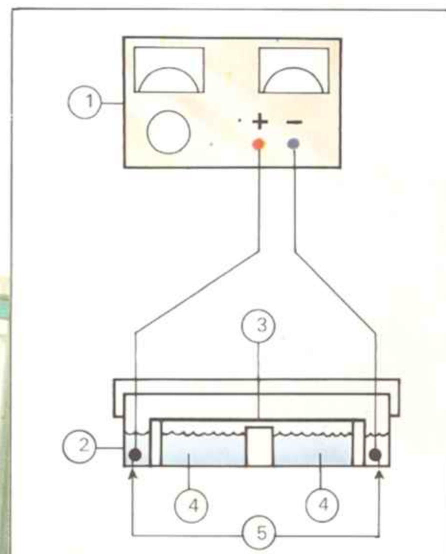
**Separación de partículas cargadas** La electroforesis se basa en el hecho de que muchas partículas químicas están dotadas de carga eléctrica. Los átomos de estas sustancias poseen bien una deficiencia de electrones (partículas negativas), cargándose positivamente, bien un exceso de electrones, adquiriendo por tanto una carga negativa. La electroforesis consiste en colocar uno de estos compuestos químicos en una solución a través de la cual se hace pasar la corriente eléctrica. Las partículas se mueven hacia el polo eléctrico de signo opuesto al de la carga que poseen: las partículas negativas hacia el polo positivo, y viceversa. En las sustancias que contienen distintos tipos de partículas, estos movimientos hacia los polos eléctricos tienen lugar a velocidades diferentes y en proporciones distintas, según las dimensiones de la partícula y según su carga eléctrica neta.

En el método de Tiselius es visible la línea de separación entre la solución pura y las partículas que emigran; por ello, las distintas manchas de migración pueden ser analizadas para determinar qué partículas están presentes y cuál es su concentración.

Una técnica más reciente, conocida como *electroforesis de zona*, consiste en que las partículas emigran a través de un "gel" o sobre una tira de papel o de acetato de celulosa. Las sustancias que no tienen color pueden hacerse posteriormente visibles mediante la adición de colorantes al finalizar la electroforesis, o bien a través de reacciones que originan compuestos coloreados.

**Análisis de las bandas de electroforesis** Los primeros trabajos de Tiselius y de otros investigadores se ocupaban del análisis de las proteínas del cuerpo humano; de estos trabajos los médicos han obtenido una gran cantidad de valiosas informaciones sobre distintas enfermedades. La electroforesis demostró por primera vez que el suero sanguíneo poseía muchos componentes proteicos, como la albúmina y una serie de sustancias denominadas *globulinas*. Examinando las bandas de migración, que tienen más o menos el aspecto de un gráfico, los técnicos son capaces de señalar los casos en los que existe un aumento de ciertos tipos de globulina que indican la presencia de algunos estados patológicos. Entre las enfermedades diagnosticables mediante estos métodos se encuentran la cirrosis hepática, la ictericia, los trastornos parasitarios y el mieloma múltiple.

En el caso de la víctima del ataque al corazón mencionado anteriormente, los técnicos deben encontrar en su sangre el enzima CPK-MB, que, en condiciones normales, está presente en cantidades minúsculas, y que en los casos de infarto de miocardio aumenta notablemente. La electroforesis permite aislar este enzima para su análisis. Un célebre descubrimiento llevado a cabo con la electroforesis ha permi-



En el centro de la página anterior esquema de un aparato para electroforesis de zona: 1) alimentación que proporciona a la celda una corriente continua; 2) cámara electroforética; 3) soporte en el que tiene lugar la separación; 4) solución tampón: cierra el circuito y permite la separación; 5) electrodos sumergidos en la solución tampón. A su lado, debajo, sistema para electroforesis horizontal: alimentación, cámara y termostato. Bajo estas líneas: fases del proceso electroforético: se coloca la muestra en un extremo del soporte, después se hace pasar la corriente que mueve los componentes a distintas velocidades según su carga. La operación se detiene cuando el componente más móvil alcanza el extremo del soporte, tal como aparece en los tres esquemas. Los componentes son a continuación revelados a base de un tratamiento con sustancias colorantes. Abajo: electroforesis de zona de suero sanguíneo humano realizada sobre gel. Las manchas azules indican la albúmina y las globulinas separadas por electroforesis y reveladas mediante colorantes. Las proteínas particulares pueden ser identificadas en el trazado efectuado sobre gel. La medición se efectúa con el densitómetro (abajo, a la derecha), que registra la posición y la intensidad de las manchas (bandas) en forma de picos como los que se observan en el gráfico. La curva se transforma en datos de concentración de las proteínas en el suero mediante el microelaborador incorporado en el instrumento, que los imprime junto al gráfico.



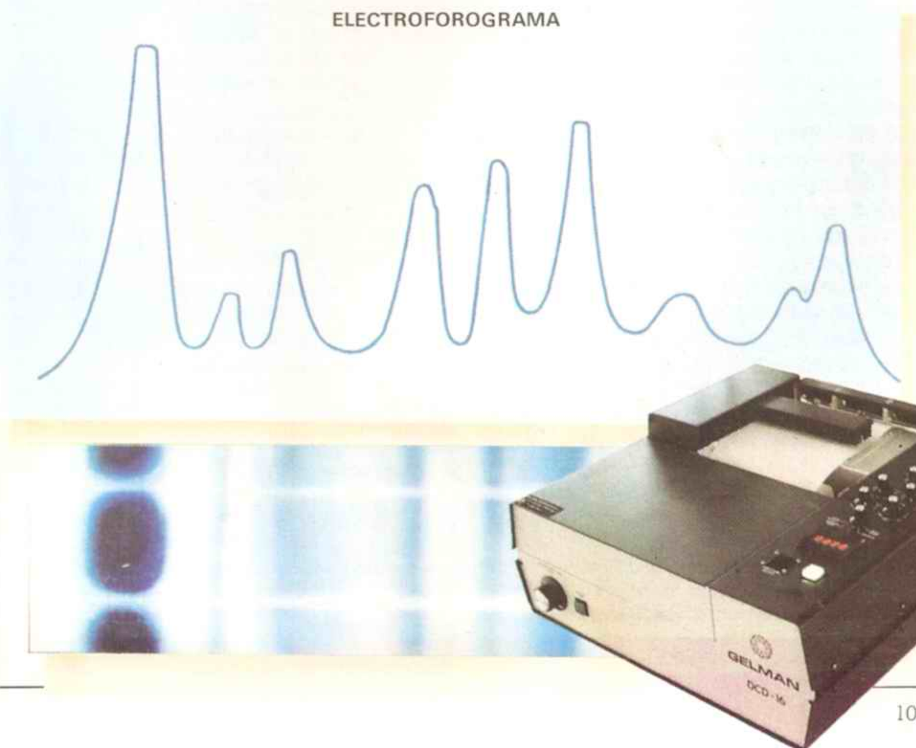

tido resolver el problema de la anemia falciforme, una enfermedad de la sangre que afecta principalmente a personas de raza negra. El químico norteamericano Linus Pauling y sus colaboradores demostraron que los glóbulos rojos y la hemoglobina de la sangre de las personas afectadas por esta enfermedad se comportaban de manera distinta. Efectivamente, las moléculas de hemoglobina de las células defectuosas se desplazan hacia el polo eléctrico opuesto en relación a las moléculas normales. Este descubrimiento sentó las bases para investigaciones sucesivas dirigidas a encontrar un tratamiento para dicha enfermedad.

**Otras aplicaciones de la electroforesis** El aislamiento de las sustancias químicas utilizadas en el diagnóstico médico manifiesta su utilidad también de otros modos. Los medicamentos necesarios para la curación de muchas enfermedades deben ser actualmente extraídos de materiales complejos mediante procesos lentos y costosos. La electroforesis es uno de los medios más eficaces para la separación de componentes para uso farmacológico, pero en las condiciones ambientales normales tal vez este proceso no es totalmente eficaz. Los fármacos separados deben ser tan puros que incluso la influencia de la gravedad sobre las partículas migratorias puede ser perniciosa. En consecuencia, los investigadores de vanguardia en el campo de la electroforesis están proyectando con ese fin realizar estas operaciones en el espacio, donde no existe la gravedad.

Se prevé que las cámaras de electroforesis, transportadas en la nave espacial norteamericana *Columbia* y finalmente instaladas en plataformas en órbita, puedan producir sustancias puras en grandes cantidades. El proceso, descrito como *electroforesis de flujo continuo*, consiste en la inyección del líquido muestra en un fluido de transporte, que posteriormente fluye en la cámara a través de una conducción. Mientras circula por la cámara, el fluido responde al campo eléctrico generado entre el polo positivo y el negativo a ambos lados, y se van separando los distintos tipos de partículas. Por el extremo opuesto las partículas salen de la cámara a través de conducciones de salida separadas.

Entre las sustancias que los investigadores tratan de aislar encontramos las células beta, que podrían proporcionar una curación para la diabetes; el interferón, importante para la inmunidad contra las infecciones virales; y numerosas hormonas del crecimiento, que pueden contribuir a corregir las deficiencias óseas en los sujetos jóvenes. Existen otras muchas sustancias beneficiosas que son prácticamente imposibles de producir en la Tierra, pero que podrán estar disponibles gracias a la electroforesis realizada en el espacio.

Véase **Análisis clínicos; Cromatografía; Investigación médica; Proteínas; Sangre y grupos sanguíneos**



# Electrólisis

Una pila origina una corriente eléctrica como consecuencia de las reacciones químicas que se producen en los compuestos que la forman. El proceso inverso, es decir, la transformación química de una sustancia, producida por el paso de una corriente eléctrica, toma el nombre de *electrólisis*.

Químicamente, la electrólisis comporta fenómenos de oxidación y reducción causados por la corriente eléctrica. Por tanto, un proceso electrolítico es el inverso de una reacción de oxidación-reducción: de hecho, en ésta la energía química de los reactivos se transforma en energía eléctrica, mientras que en la electrólisis la energía eléctrica se transforma en energía química.

Los primeros experimentos de electrólisis tuvieron lugar en el año 1800, y fueron realizados por los científicos ingleses A. Carlisle, W. Nicholson y J. W. Richter, que descompusieron el agua en hidrógeno y oxígeno haciendo pasar a través de ella una corriente eléctrica generada por una pila de Volta. Algunos años después, el químico Humphrey Davy, también inglés, pudo aislar por primera vez numerosos elementos (entre los que se encontraban el potasio, el sodio, el calcio y el magnesio), utilizando para ello la electrólisis.

Actualmente la electrólisis tiene importantes aplicaciones industriales, entre las que se encuentran la producción de aluminio y cloro, la preparación de metales puros, como pueden ser el litio, el calcio, el potasio y el magnesio (por electrólisis de sus sales fundidas) y el revestimiento de objetos metálicos con otros metales (galvanoplastia).

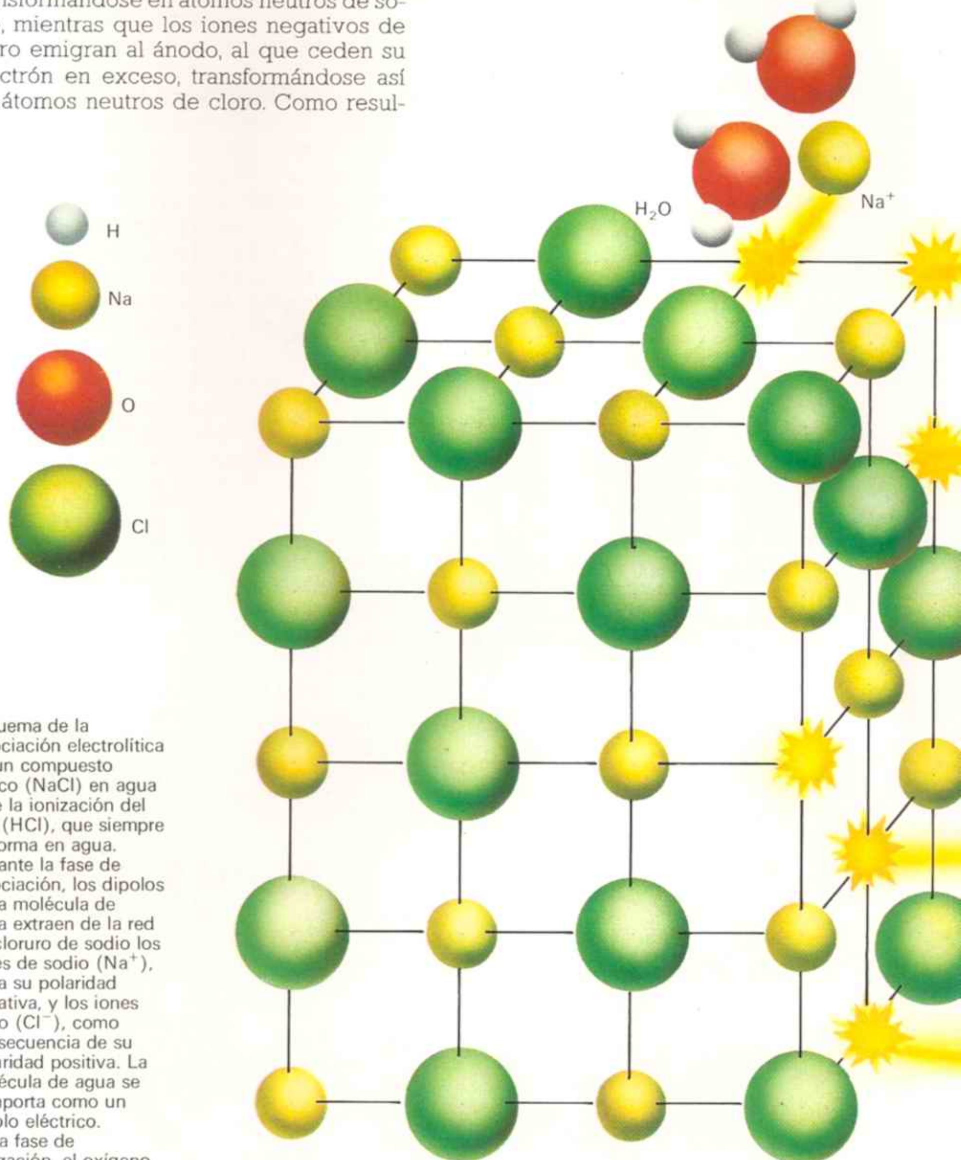
**Atomos e iones** Un átomo está formado por tres tipos de partículas: protones (cargados positivamente) y neutrones (sin carga alguna) que componen el núcleo, y electrones (cargados negativamente) que describen órbitas alrededor de aquél. Normalmente, el número de protones y electrones es el mismo, por lo que el átomo es eléctricamente neutro. De todas formas, en ciertas condiciones, un átomo o una molécula (formada por un grupo de átomos) pueden perder o captar uno o más electrones, adquiriendo así una o más cargas negativas o positivas. Así, en una disolución acuosa de cloruro de sodio (la sal común), el sodio y el cloro se encuentran en forma de átomos cargados eléctricamente, llamados *iones:* los iones sodio se forman por pérdida de un electrón y son, por tanto, positivos (*cationes*); los iones cloro se forman al captar un electrón y, por lo tanto, son negativos (*aniones*). Este fenómeno se denomina *disociación iónica* o ionización. La electrólisis aprovecha la ionización para poder separar especies químicas distintas.

El dispositivo donde se lleva a cabo la electrólisis, llamado *cuba electrolítica* o voltámetro, está dotado de dos barras conductoras, o electrodos, de metal o de grafito, que se sumergen en una solución acuosa de una sal, de un ácido o de una base, o también en una sal fundida. Cada uno de esos "medios" se llama *electrolito*. Conectando los electrodos a un generador de corriente continua (por ejemplo, una batería), la diferencia de potencial que se establece entre ellos hace que los iones positivos presentes en el electrolito emigren hacia el electrodo cargado negativamente (o cátodo, conectado al polo negativo de la batería), mientras que los iones negativos emigran hacia el electrodo cargado positivamente (o ánodo, conectado al polo positivo de la batería). De esta manera se produce una circulación de la corriente eléctrica a través del sistema constituido por los electrodos y el electrolito.

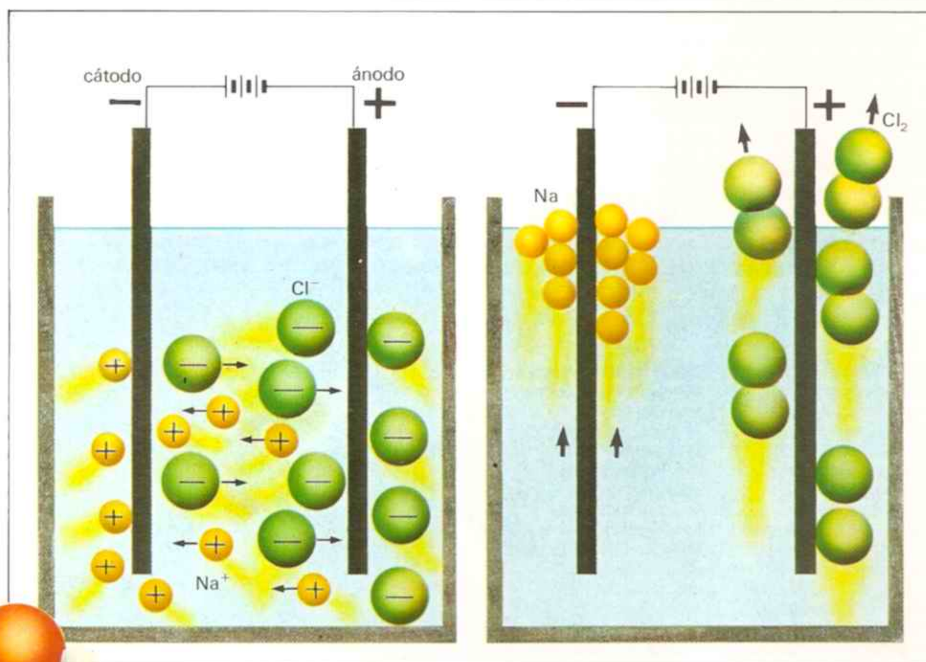
Así, por ejemplo, en la electrólisis del cloruro de sodio fundido, los iones positivos de sodio emigran al cátodo donde se descargan, recobrando un electrón y transformándose en átomos neutros de sodio, mientras que los iones negativos de cloro emigran al ánodo, al que ceden su electrón en exceso, transformándose así en átomos neutros de cloro. Como resultado, en el cátodo se deposita sodio metálico y en el ánodo se forman burbujas de cloro gaseoso.

La electrólisis está regulada por dos leyes enunciadas en el año 1833 por el físico inglés Michael Faraday. La primera establece que la cantidad de las sustancias que se liberan en los electrodos es proporcional a la cantidad de electricidad que circula a través del sistema. La segunda afirma que una misma cantidad de electricidad libera en los electrodos cantidades de sustancias distintas, en proporción a su equivalente químico (relación entre la masa atómica y la valencia de un elemento dado: en el caso del sodio y del cloro, que son monovalentes, el peso atómico coincide con el peso equivalente).

**Aplicaciones** Las aplicaciones industriales más extendidas de este proceso




Esquema de la disociación electrolítica de un compuesto iónico (NaCl) en agua y de la ionización del gas (HCl), que siempre se forma en agua. Durante la fase de disociación, los dipolos de la molécula de agua extraen de la red de cloruro de sodio los iones de sodio ($Na^+$), dada su polaridad negativa, y los iones cloro ($Cl^-$), como consecuencia de su polaridad positiva. La molécula de agua se comporta como un dipolo eléctrico. En la fase de ionización, el oxígeno del agua captura al hidrógeno del ácido clorhídrico que se ha formado (HCl), produciendo un ión ($H_3O^+$) y liberando cloro ($Cl^-$).



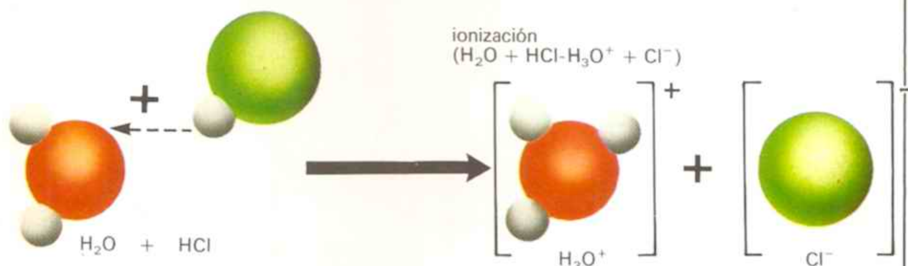

electroquímico son la producción de aluminio por electrólisis de una mezcla en estado de fusión de alúmina ($Al_2O_3$) y criolita, y la producción de cloro por electrólisis de disoluciones de cloruro de sodio.

La industria de los tratamientos galvánicos también utiliza mucho la electrólisis para obtener la deposición de capas muy finas de metales como protección contra la corrosión (cromado, zincado, estañado), o como elementos de embellecimiento exterior (dorado y plateado). La operación se lleva a cabo en celdas de electrólisis, llamadas *baños galvánicos*, en las que el cátodo está constituido por el metal a recubrir y el ánodo por el metal de recubrimiento (cromo, cinc, plata, etc.). Los electrodos están sumergidos en una disolución que contiene una sal del metal a depositar. Al pasar una corriente eléctrica continua a través del sistema, el metal del ánodo se consume disolviéndose en la solución y yendo a depositarse sobre el objeto metálico que constituye el cátodo.

Véase **Aluminio; Cloro; Electroquímica; Pila galvánica**

Sobre estas líneas, esquema de la electrólisis de una sal fundida (NaCl). Sometiendo los dos electrodos a una diferencia de potencial, en el polo negativo (cátodo) se recogerán los cationes ($Na^+$), mientras que en el polo positivo (ánodo) se recogerán los aniones ($Cl^-$). Después del proceso de reducción que se verifica en el cátodo y del proceso de oxidación que se produce en el ánodo, en los dos electrodos se formarán, respectivamente, Na y $Cl_2$.
Bajo estas líneas, aprovechamiento industrial de un proceso electrolítico.

$Cl^-$






Oronzio De Nora. Plantas electroquímicas S.p.A., Milán

Planta de producción de cloro-sosa cáustica con celdas al mercurio. Ultimamente, la energía empleada se ha reducido hasta 2.500-2.700 kWh por cada tonelada de sosa cáustica producida.

# Electromagnetismo

Se cuenta una historia de tres ciegos que se encontraron un elefante sin haber oído hablar antes de estos animales, por lo que ninguno tenía idea de su aspecto. El primer ciego, tocando la cola del animal, se hizo una idea de los elefantes como bestias alargadas y finas, parecidas a las serpientes. El segundo abrazó una pata y describió a los elefantes como animales tan macizos como los árboles. El tercer ciego, habiendo tocado las grandes orejas del animal, acusó a los otros dos de estar locos, ya que los elefantes eran animales alados, con alas similares a las de los murciélagos. Los tres acabaron por discutir acaloradamente porque cada uno de ellos tenía una idea bien clara, pero únicamente de una parte del animal y no podía por tanto valorarlo en su conjunto.

Cuando se piensa en el magnetismo, en la electricidad y en la luz, se produce una situación análoga a la de la historia. Todos tenemos más o menos una idea de lo que son un trozo de hierro con forma de herradura que atrae las limaduras de hierro, un enchufe en una pared que proporciona "fuerza" a la plancha y el rayo de luz que produce una vela. Cuando se explican estos tres fenómenos en detalle, vemos que están unidos entre sí de forma asombrosa. La electricidad, el magnetismo y la luz se encuentran en cualquier parte a nuestro alrededor, utilizándose para aplicaciones que van desde el teléfono hasta el tren de juguete. Puede parecer extraño que fenómenos tan utilizados habitualmente no estén del todo claros, incluso para los científicos que los han estudiado durante toda su vida.

La electricidad y el magnetismo están estrechamente unidos y son en realidad dos caras de la misma moneda. De esa forma, cuando se coloca un termómetro en la chapa de un coche por medio de un imán, se produce un fenómeno en parte eléctrico, y al revés, cuando se utiliza un enchufe eléctrico para calentar una habitación, se aprovecha un fenómeno que en parte también es magnético.

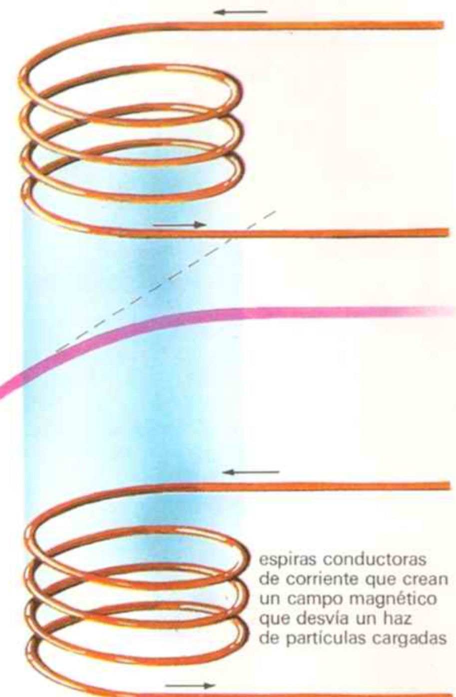
Tanto la electricidad como el magnetismo se manifiestan por la presencia y las propiedades de los *electrones*, pequeñísimas partículas que forman parte del átomo. Mucha gente imagina el átomo como un pequeño sistema solar: un gran núcleo central formado mayoritariamente por protones y neutrones, y una serie de electrones que giran a su alrededor como los planetas. Sin embargo, esta imagen no resulta demasiado útil para describir las propiedades reales de los átomos. Entre otras cosas, los físicos han descubierto que es totalmente erróneo el imaginar los electrones como pequeñas esferas duras que giran alrededor del núcleo.

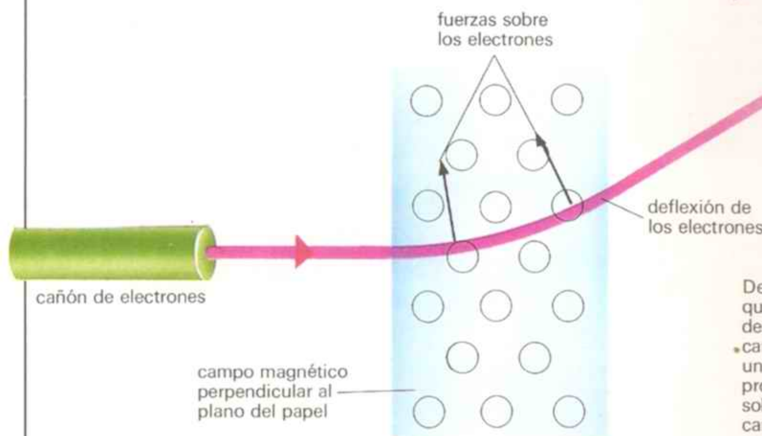
Como nadie ha visto nunca un electrón, cada uno de los experimentos nos puede proporcionar solamente un aspecto distinto del conjunto. Es posible que esos aspectos se adapten muy poco a la imagen real, ya que los electrones se comportan unas veces como pequeños haces de ondas y otras como partículas. El intentar imponer a toda costa una de las dos interpretaciones es una postura equivalente a la de uno de los ciegos que, habiendo tocado sólo una parte del elefante, no podía captar la imagen de conjunto.

Se sabe con certeza que los electrones tienen una masa de $9{,}1 \cdot 10^{-18}$g, menor que una millonésima de millonésima de millonésima de millonésima de gramo, y que tienen *carga eléctrica*. Nadie sabe exactamente por qué los electrones tienen esa carga o qué es esa "carga", pero los científicos son capaces de explicar sus efectos y cómo interaccionan dichas cargas. Se sabe también que el movimiento y la interacción de los electrones son la causa principal de los fenómenos eléctricos y magnéticos, como el flujo de una corriente o la orientación de la aguja de una brújula hacia el Norte.




La ley fundamental del electromagnetismo es la que relaciona los fenómenos eléctricos con los magnéticos. Esta ley procede del experimento clásico de Oersted y está representada en el esquema de la izquierda. Por el conductor vertical circula una corriente, por lo que a su alrededor se forma un campo magnético cuyas líneas de fuerza son circulares. Sobre una de ellas (la exterior) se puede ver la dirección de una fuerza magnética sobre un objeto magnetizado que estuviera en esa línea de fuerza. Si se dirige el pulgar de la mano derecha en el sentido de la corriente, los demás dedos indicarán el sentido del campo.




De la misma forma que el movimiento de una carga crea un campo magnético, un campo magnético produce una fuerza sobre las partículas cargadas y por tanto sobre una corriente. Una partícula cargada (por ejemplo, un electrón) que se mueve en un acelerador es equivalente a una corriente. Cuando esta partícula atraviesa un campo perpendicular a las líneas de fuerza, se desvía de su trayectoria recta. A la izquierda, las líneas de fuerza son perpendiculares al papel y están representadas con redondelitos. Arriba, las bobinas que generan el campo y la trayectoria de la partícula.

Las cargas pueden ser de dos tipos: *positivas*, como la carga de un protón del núcleo, y *negativas*, como la carga de un electrón. Cada una de estas cargas positivas y negativas crea a su alrededor un *campo eléctrico*, que es la zona del espacio en la que se ejerce una fuerza. Por ejemplo, cuando se habla del campo gravitatorio de la Tierra, se hace referencia a la región del espacio en la que se produce el efecto de atracción de la gravedad. Sin embargo, entre el campo gravitatorio y el eléctrico existe la diferencia de que en el primero todos los objetos experimentan los mismos efectos, mientras que en el segundo los efectos son distintos dependiendo de si la partícula tiene carga positiva o negativa. La carga negativa de un electrón rechaza las demás cargas negativas y en cambio atrae las cargas positivas, mientras que la carga positiva de un protón produce el efecto opuesto, atrayendo las cargas negativas y rechazando las positivas.

Las partículas cargadas producen siempre campos eléctricos, pero cuando se mueven producen además campos magnéticos. De la misma forma que en los campos eléctricos las fuerzas actúan sobre los objetos que tienen carga eléctrica, en los campos magnéticos los efectos se aprecian sobre objetos magnetizados. Sin embargo, existen algunas diferencias en el comportamiento de ambos campos: una carga eléctrica colocada en el campo creado por otra carga eléctrica experimenta una fuerza que actúa en la dirección de la recta que une las dos cargas, mientras que un objeto magnetizado colocado en un campo magnético intenta colocarse *alineado* con la dirección del campo. Por ejemplo: si se esparcen limaduras de hierro sobre un papel situado encima de un imán de barra, las limaduras formarán un dibujo debido al alineamiento de los trocitos de hierro con el campo creado por el imán. El poeta Ezra Pound, que observó este fenómeno, dijo que las limaduras formaban rosetas parecidas a flores.

El ejemplo más elocuente sobre el principio de alineamiento quizá lo proporcione la brújula, en la que la aguja móvil es un pequeño imán. Como consecuencia de procesos geológicos complejos, la Tierra crea un campo magnético a su alrededor, cuya presencia se descubrió en el siglo XVII. La existencia de ese campo magnético hace que se pueda considerar a nuestro planeta como un inmenso imán. Los dos extremos de ese imán se encuentran cerca de los polos Norte y Sur, motivo por el que reciben el nombre de *polo norte* y *polo sur magnéticos*, aunque no coincidan exactamente con los geográficos. La aguja de una brújula colocada horizontalmente tenderá siempre a situarse paralela a una línea imaginaria que une el polo norte con el polo sur magnéticos.

El hecho de que el mismo extremo de la aguja marque siempre el Norte ilustra muy bien una segunda diferencia entre campos magnéticos y eléctricos, o quizá sería mejor decir entre los aspectos magnéticos y eléctricos del electromagnetismo. Mientras que pueden existir campos eléctricos creados por cargas de un único signo, los campos magnéticos siempre están creados por dos extremos o *polos*. De forma análoga al imán gigantesco que es la Tierra, todos los objetos magnéticos tienen un polo norte y un polo sur, entre los que existe el campo que intenta alinear a los demás cuerpos magnéticos.

Hay que subrayar que todos los imanes tienen dos polos opuestos, e incluso al partir por la mitad una barra imantada se obtendrán dos imanes más pequeños, cada uno de ellos con un polo norte y un polo sur. Actualmente se piensa que es imposible aislar un polo magnético, lo que significa que cualquier imán tendrá siempre dos polos aunque se vaya subdividiendo hasta llegar a fragmentos ínfimos.

Llegados a este punto es necesario aclarar algunos de los términos que se han utilizado. Los nombres "polo norte" y "polo sur", elegidos en el siglo XIII, resultan poco claros. Recordemos que el polo norte de un imán atrae siempre al polo sur de otro imán, por lo que el extremo de la aguja imantada de la brújula que indica el Norte *no* es el polo norte, sino el polo sur atraído por el polo norte magnético terrestre.

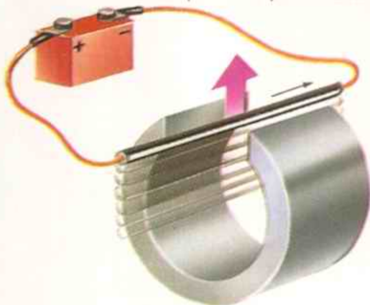
El campo magnético creado por un imán es debido al conjunto de campos magnéticos que crean los electrones que se mueven en el interior del material. Los electrones se mueven de tres formas fundamentales: giran como peonzas alrededor de su propio eje, tienen un movimiento orbital en el átomo alrededor del núcleo y se mueven de un átomo a otro. Estos movimientos de los electrones producen los efectos electromagnéticos.

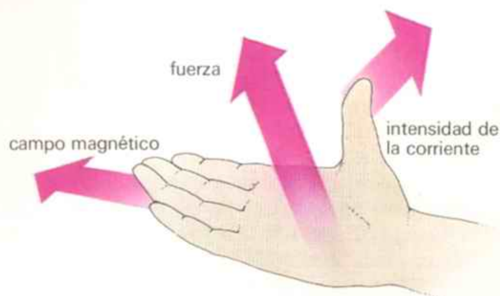
Una consecuencia importante de la rotación de los electrones alrededor del átomo es la creación de los imanes. La rotación se puede producir solamente en un sentido o en el contrario, y como poseen carga y están en movimiento, generan pequeños campos magnéticos. Normalmente el número de electrones de un átomo que giran en un sentido es aproximadamente igual que el número de los que giran en el sentido contrario, por lo que los campos magnéticos de cada electrón se anulan y no queda ningún campo resultante. Los átomos que tienen un número de electrones impar son siempre débilmente magnéticos.

Algunos materiales están compuestos por átomos en los que los electrones que giran en un sentido son más numerosos que los que giran en el sentido contrario. Cuando los pequeños campos magnéticos producidos por cada uno de los átomos son paralelos, sus efectos se suman, llegando a formar un imán. Cuando se esparcen limaduras de hierro cerca de un imán, se agruparán en los extremos. Esto sucede no solamente porque el imán atrae el hierro, sino también porque el campo magnético creado ha transformado temporalmente cada pedacito de hierro en un pequeño imán, con un polo norte y un polo sur, que intenta alinearse con las líneas que unen el polo norte con el polo sur de la barra. En materiales como el hierro, el níquel y el acero existe, respecto a otros materiales, un número mayor de electrones con sentidos de giro no equilibrados y que por tanto se pueden magnetizar fácilmente. Estos materiales se llaman *ferromagnéticos*.

Si magnetizamos un trozo de hierro dejándolo durante un cierto tiempo dentro de un campo magnético y se varía la dirección de este campo externo, se puede comprobar que el hierro irá cambiando lentamente la dirección de los pequeños imanes que lo componen. Ni la primera magnetización ni la segunda llegarán a ser completas porque todos los átomos mantienen una cierta cantidad de movimiento que les impide pararse fácilmente en una determinada posición. Cuanto más se mueven los átomos de un material, más difícil es que se magnetice. Esos movimientos casuales tienden a destruir la capacidad de atracción magnética de un material una vez que está apartado del campo que ha creado la magnetización. El campo magnético externo se puede considerar como un maestro con un grupo de niños indisciplinados: cuando está presente el maestro, todos los niños miran en la misma dirección; pero en cuanto se aleja, de-

Sobre una corriente eléctrica que circula dentro de un campo magnético actúa una fuerza que la desvía. Por tanto, al introducir un conductor recorrido por una corriente en un campo magnético, se produce una fuerza que lo desplaza. En los motores se aprovecha este fenómeno de forma que actúe permanentemente sobre un hilo conductor. Debajo, a la izquierda, está representada la fuerza que se ejerce sobre un conductor entre los dos polos de un imán. Al lado, la "regla de la mano derecha", con la que se puede determinar la fuerza que se va a ejercer sobre una corriente cuando se conoce su dirección y la del campo magnético.





saparece la disciplina y los niños se distribuyen por todo el aula.

Los materiales magnéticos tardan mucho tiempo en desmagnetizarse porque sus átomos, una vez magnetizados, se mantienen en la dirección de magnetización por la fuerza dominante de sus átomos circundantes. La existencia de esta magnetización remanente entra dentro de la propiedad llamada *histéresis*, por la que el valor de la magnetización no sólo depende del campo en un instante, sino también de los valores que haya tomado anteriormente. Los imanes permanentes se fabricaron durante mucho tiempo con acero al carbono, pero actualmente se consigue mayor eficacia utilizando materiales como el *alnico*, (aleación de hierro, aluminio, níquel, cobalto y cobre).

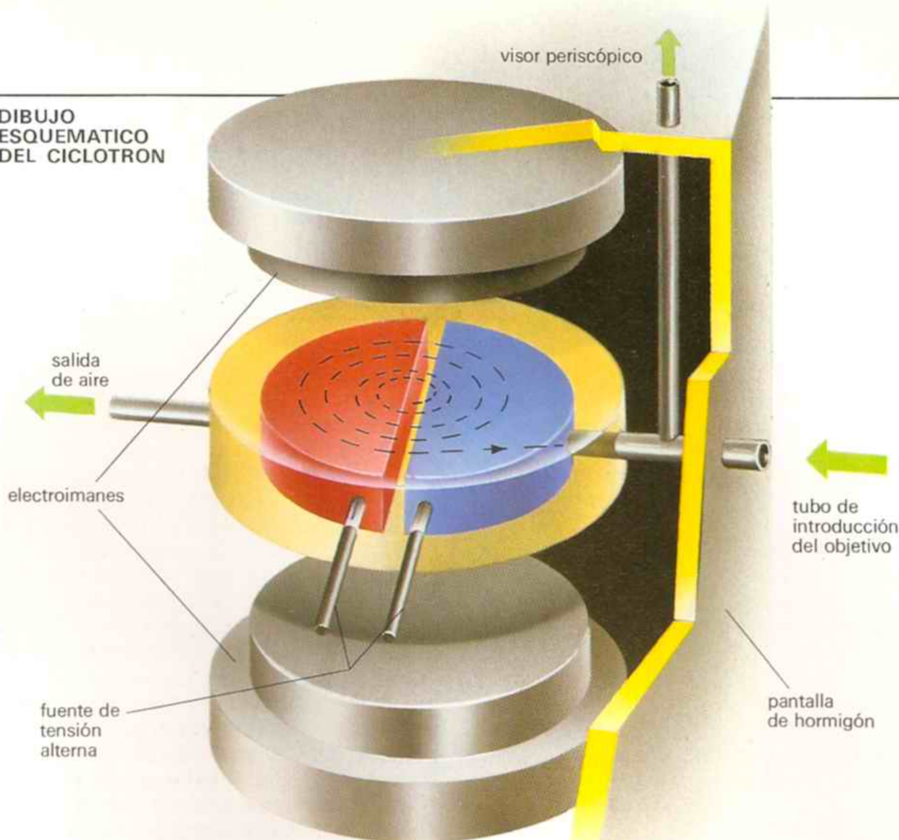
Un segundo efecto del movimiento de electrones, el más importante, se produce cuando se mueven en una corriente eléctrica. La corriente que circula por los cables está formada en realidad por un flujo de electrones procedentes de los orbitales externos de los átomos que forman los materiales conductores. Como la carga del electrón es muy pequeña para provocar una corriente perceptible, se tienen que mover cantidades enormes de electrones. Cuando por un cable circula una corriente de 1 amperio pasan aproximadamente $10^{19}$ electrones por segundo.

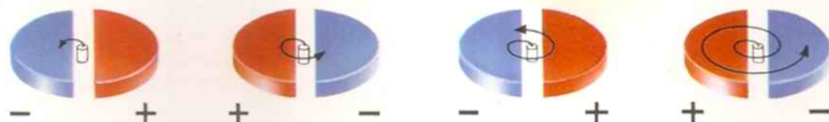
Todos los generadores de corriente continua tienen dos terminales con dos polos eléctricos: positivo y negativo. Cuando se conecta un circuito a los dos polos, la corriente circula, por definición, del polo positivo al polo negativo, aunque en realidad los electrones vayan en sentido contrario. Esta confusión se debe a Benjamín Franklin, quien, en el siglo XVIII, definió por primera vez la dirección de la corriente del polo positivo al negativo, ya que él no se imaginaba que existieran los electrones y por tanto no podía suponer que en realidad circulaba algo por el hilo. Entre la definición de Franklin y el momento en el que se descubrió la verdadera naturaleza de la corriente eléctrica pasó más de un siglo, por lo que fue imposible rectificar la definición.

La corriente eléctrica no circula con la misma facilidad por todos los materiales. Para que un material sea buen conductor tiene que tener muchos electrones que no estén fuertemente sujetos en una posición. Por ejemplo, algunos materiales cristalinos tienen enlaces entre los átomos que impiden que los electrones se muevan fácilmente por el cristal, como es el caso del cuarzo o del bióxido de silicio. Al no tener electrones libres, no pueden conducir corriente eléctrica y son aislantes.

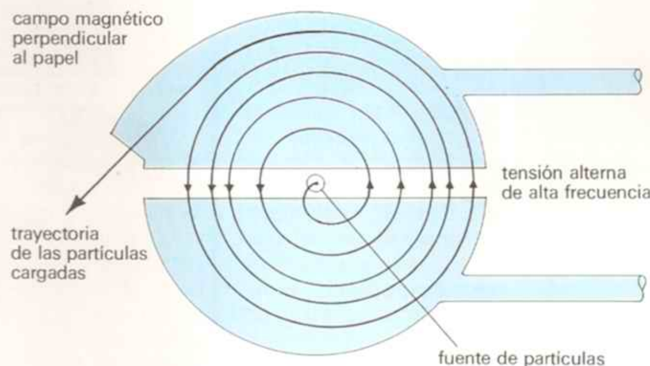
En cambio, la estructura atómica del cristal metálico, aunque tiene los átomos enlazados fuertemente (los metales son los materiales más tenaces que existen), permite que cada uno de los electrones externos de cada átomo se pueda mover libremente por el cristal como si éste fuera una esponja con sus agujeros comunicados y recorrida por un líquido o por un

**DIBUJO ESQUEMATICO DEL CICLOTRON**




En el proyecto de una máquina aceleradora como el ciclotrón se utilizan las leyes conocidas que relacionan las fuerzas y los campos magnéticos. Entre las piezas polares del imán del ciclotrón, la partícula debería girar en círculo, pero como en cada giro pasa por dos sectores entre los que existe una diferencia de potencial que la acelera, cada media vuelta se agranda la circunferencia y la trayectoria se convierte en una espiral.




vapor. Por ese motivo, cuando se hace que entre los extremos de un conductor metálico exista un campo eléctrico, los electrones se pondrán en movimiento por estar libres y su flujo, la *corriente*, encontrará poca *resistencia* para moverse.

Cuando un flujo de electrones se mueve por un cable, las cargas en movimiento crean un campo magnético a su alrededor. Este gran descubrimiento se produjo de forma completamente casual, ya que durante generaciones no se había observado relación alguna entre electricidad y magnetismo; es más, se había negado la posible relación. El científico danés Hans Christian Oersted (1777-1851) había elaborado con tal fin un conocido experimento en el que demostraba la inexistencia de cualquier relación entre electricidad y magnetismo. El experimento se desarrollaba delante de sus alumnos de la Universidad de Copenhague y consistía en colocar un hilo conductor —por el que circulaba una corriente— formando un ángulo recto con una aguja de brújula y encima de ella. Oersted demostraba de esta forma, basándose en que la aguja no se movía, que la electricidad y el magnetismo eran fenómenos completamente diferentes. Un día de 1820 algunos estudiantes se acercaron a él al final de la clase y le pidieron que repitiera la demostración. En esta ocasión el científico colocó por equivocación el hilo paralelo a la aguja imantada, y, con enorme sorpresa por su parte, la aguja giró hasta colocarse perpendicular al hilo. Se sorprendió nuevamente cuando al invertir el sentido de la corriente vio que la aguja giraba media vuelta.

A pesar de la turbación del primer momento, el descubrimiento le trajo a Oersted fama y honores, porque rápidamente pudo demostrar que la corriente, al pasar por un hilo, crea un campo magnético. Aproximadamente veinte años antes el italiano Gian Doménico Romagnosi había hecho el mismo descubrimiento, pero se había ignorado completamente. Si se pudiera mirar el hilo positivo de la pila, se vería que el campo magnético ejerce una fuerza alrededor del hilo en sentido opuesto al de las agujas de un reloj. Este es el motivo por el que la aguja imantada se coloca perpendicular al hilo. Cuanto mayor es la corriente eléctrica, más fuerte es el campo; y para una corriente fija: a mayor distancia del hilo, más débil es el campo magnético. Si se enrolla el hilo aislado alrededor de un cilindro de hierro o de otro material ferromagnético, el campo que crea la bobina formada por el hilo se canaliza por el hierro, constituyendo un dispositivo muy útil llamado *electroimán*.

Los electroimanes tienen centenares de aplicaciones en la industria y en la ciencia. Su ventaja principal, prescindiendo de su gran potencia, es que sus efectos se pueden anular. Por ejemplo, cuando se desea tener un imán del tamaño necesario para poder recoger chatarra de hierro y transportarla con una grúa, ésta tiene que ser capaz de soltar de nuevo el material. El núcleo de hierro de un electroimán está formado por una pieza de hierro llamado "dulce", es decir, hierro que se magnetiza fuertemente cuando está dentro de un campo magnético, pero que tiene poca inducción remanente cuando éste desaparece, y por tanto pierde rápidamente su magnetización.

Las interacciones entre electrones en movimiento y campos magnéticos son mucho más complejas que los fundamentos de los electroimanes. El día de Navidad de 1821 (el año siguiente al descubrimiento accidental de Oersted) el físico inglés Michael Faraday descubrió que se produce una atracción sobre un conductor de corriente situado entre los dos polos de un imán aunque sea de un material no magnético. Al quitar la corriente, el conductor vuelve a su situación de reposo habitual.

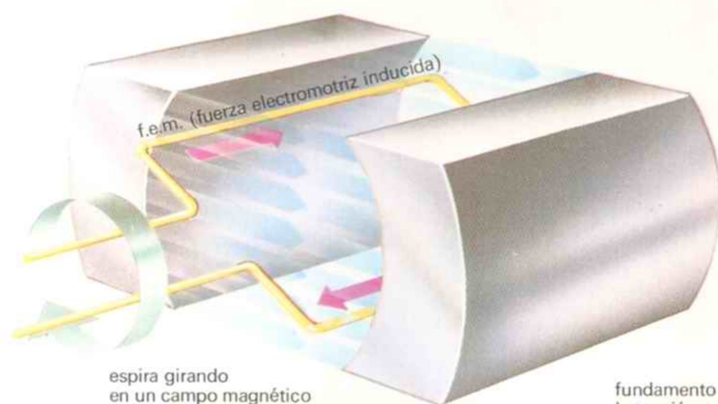
Este descubrimiento se puede resumir diciendo que los campos magnéticos ejercen una *fuerza mecánica* (fuerza externa que provoca un movimiento físico) sobre los cuerpos. Cuando la corriente circula por un hilo situado en un campo magnético, se produce el mismo efecto que si una mano tirase del hilo hacia uno de los polos del imán. La razón de este efecto es la generación de un campo magnético por el hilo, por lo que se comporta como un imán. Los dos "imanes" intentan alinear sus campos magnéticos, de la misma forma que la aguja de la brújula intenta alinear el suyo con el campo magnético terrestre.

La propiedad de los campos magnéticos de ejercer fuerzas mecánicas tiene consecuencias muy importantes. Por ejemplo, el campo magnético terrestre nos protege de muchas de las radiaciones del Sol que son dañinas para nosotros. La materia de la superficie solar está formada por átomos que han perdido un electrón y por electrones libres. Cuando se mueve, se mueven también partículas cargadas y por tanto se crean campos magnéticos. En determinadas circunstancias, estos campos pueden proyectar algunas de las partículas al espacio, que podrían llegar a la Tierra donde causarían graves daños a todos los seres vivos. Afortunadamente, el campo magnético terrestre ejerce sobre estas partículas en movimiento una fuerza mecánica que las aleja de nuestro planeta, de forma parecida a como la corriente eléctrica de Oersted rechazaba la aguja de la brújula.

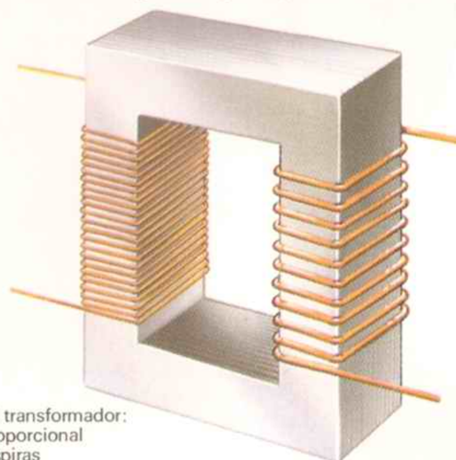
Otro ejemplo, quizá más concreto, del efecto electromagnético es el motor eléctrico, dispositivo que aprovecha el descubrimiento de Faraday para hacer girar un eje. Los motores eléctricos están formados, la mayor parte, por dos bobinados: uno de ellos, fijo, es el *estator*, y el otro, situado en la parte móvil, es el *rotor*. El rotor está formado por espiras de hilo esmaltado situadas alrededor del eje como pétalos de una margarita. Para que el motor funcione, tiene que circular por la bobina exterior una corriente que crea un campo magnético en el que está sumergido el rotor. Entonces se hace circular otra corriente por una sola bobina de las que forman el rotor, con lo que se crea un segundo campo magnético. Los dos campos magnéticos intentan alinearse, haciendo que gire el eje un poco. El movimiento del eje cambia el contacto a la bobina siguiente, con lo que desaparece el campo de la primera bobina, entra en juego el de la segunda y se vuelve a repetir el proceso anterior. Este cambio de bobina se repite con la tercera, con la cuarta y sigue hasta que el eje ha realizado una vuelta completa, punto en el que se reinicia el ciclo.

Los motores eléctricos se utilizan en muchos aparatos domésticos. Recientemente se ha estimado que en una casa media de Estados Unidos funcionan aproximadamente 35 motores eléctricos que mueven máquinas de los tipos más diversos, desde el tren eléctrico de juguete a los aparatos más potentes. De una forma o de otra, todos funcionan gracias al campo magnético generado por el movimiento de los electrones.

Tanto los electroimanes como los motores eléctricos están basados en el hecho de que una corriente eléctrica crea un campo magnético. Existe otro aspecto de este fenómeno complejo e interdependiente que es el electromagnetismo, que consiste en la creación de corrientes eléctricas por campos magnéticos, de la misma forma que se da el efecto contrario. Este fenómeno se llama *inducción electromagnética* y se aprovecha en la *dinamo* y otros generadores de corriente. La dinamo, desarrollada en 1867 por el científico alemán Werner Siemens, es una máquina que hace exactamente la función inversa de lo que hacen los motores: transforma el giro de un eje (energía mecánica) en una corriente eléctrica. Un ejemplo conocido es la dinamo de un coche, que extrae energía del motor y la transforma en elec-

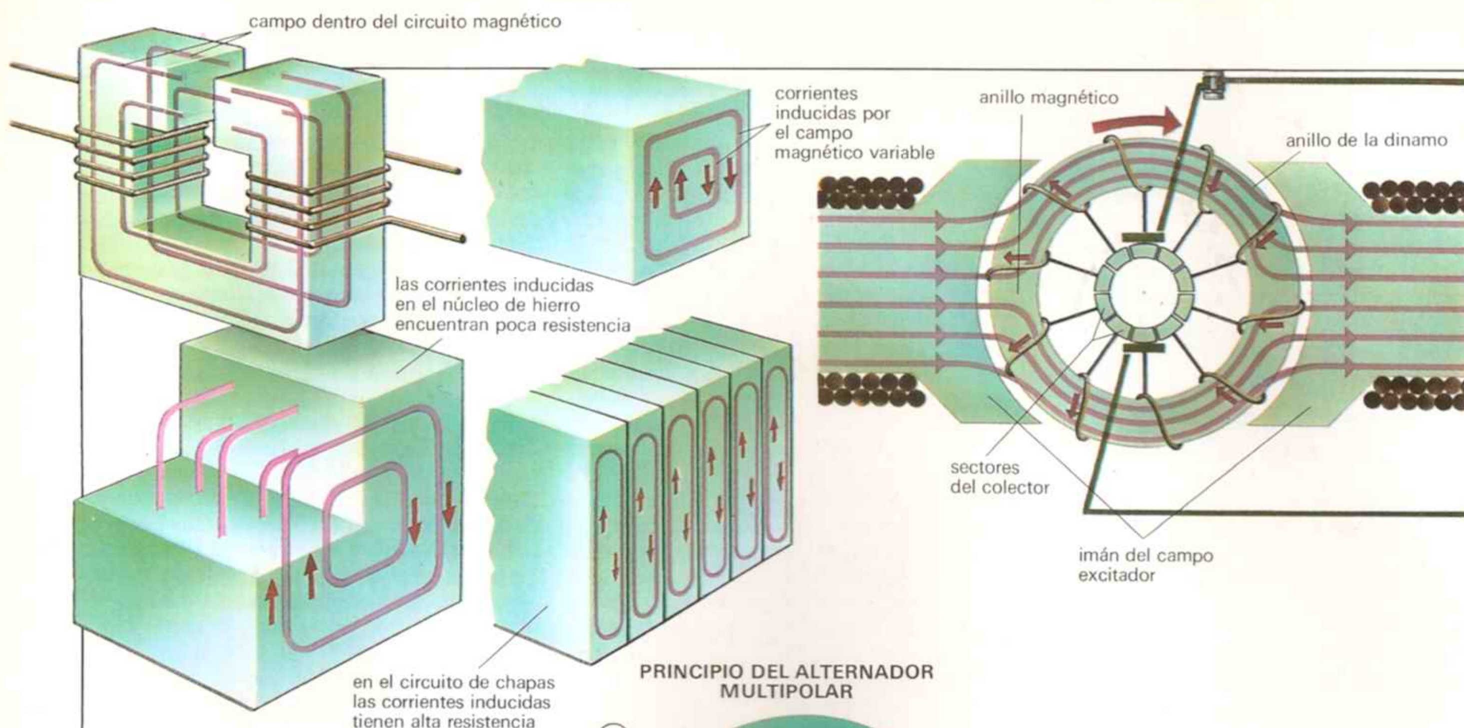



espira girando
en un campo magnético

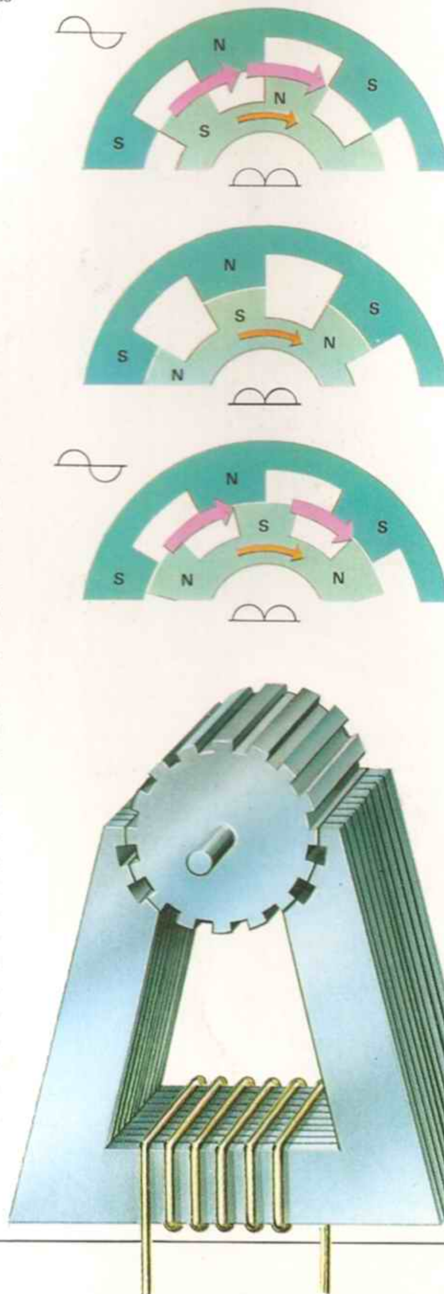


fundamento del transformador:
la tensión es proporcional
al número de espiras

Dos aplicaciones de la inducción. A la izquierda, la generación de una corriente en una espira cuando ésta gira en un campo magnético. La parte de la espira que gira paralela al eje de rotación corta las líneas de fuerza, por lo que se induce una fuerza electromotriz. A la derecha, un transformador, en el que la corriente alterna que circula por un devanado crea un campo magnético variable que se transmite por el hierro e induce una corriente también alterna en el otro devanado.




Arriba a la izquierda, las corrientes inducidas en un circuito magnético y las medidas que se toman para reducir sus efectos; a la derecha, el principio de funcionamiento de la dinamo, en la que se obtiene una corriente prácticamente continua en las escobillas del colector. En el centro, el principio de funcionamiento del alternador de múltiples polos.




tricidad con la que se alimentan los faros, la radio, el ventilador, etcétera.

Cuando un hilo conductor atraviesa un campo magnético, los electrones del conductor perciben una fuerza que les induce ligeramente a moverse. El que el efecto sea tan corto se debe a que los campos magnéticos estables y constantes no inducen corrientes, mientras que sí lo hacen los campos que se mueven o los que tienen una intensidad variable. La corriente se produce por el movimiento relativo del conductor respecto al imán, sin importar que el movimiento sea de uno de ellos, del otro o de los dos. Cuando el movimiento relativo deja de existir, la corriente desaparece. Este efecto se produce porque cuando se mueve un campo magnético o cambia estando cerca de partículas cargadas, se establece una situación similar a cuando las partículas se mueven en un campo constante, es decir, se reproduce la situación que se ha descrito antes. El campo magnético ejerce una fuerza sobre las partículas cargadas, induciendo una corriente que sigue circulando mientras el campo magnético esté en movimiento o variando.

Los generadores aprovechan este principio para la producción de energía eléctrica. Un ejemplo es la dinamo portátil que utilizaban las tropas en los campos de batalla para alimentar la radio, en la que un soldado tenía que mover a mano una rueda. Alrededor de la parte externa de la rueda había una correa que transmitía el movimiento de la rueda al eje de la dinamo. En el extremo del eje estaba situada una bobina de hilo de cobre, entre los dos polos de un potente imán. Una parte de este hilo estaba siempre en contacto con el terminal de alimentación de la radio. Cuando el soldado hacía girar la rueda, la bobina giraba en el campo creado por el imán, movimiento que era suficiente para producir una corriente eléctrica que circulaba por la bobina y por la radio.

Las dinamos generan *corriente continua* (cc), que es el tipo de corriente que se utiliza en la mayor parte de los aparatos electrónicos como son las radios. Existen otros generadores de corriente, los *alternadores*, que producen *corriente alterna*, es decir, corriente en la que se invierte varias veces por segundo el sentido de circulación. Esta inversión se produce porque el sentido de la corriente depende de la posición de la bobina respecto a los polos magnéticos: cuando la bobina está frente a un polo, la corriente tiene un sentido, y, cuando está delante del otro, tiene el sentido contrario. La corriente alterna circula permanentemente hacia adelante y hacia atrás, por lo que los electrones van primero en un sentido y después en el otro, como las pelotas de ping-pong en un partido de este juego.

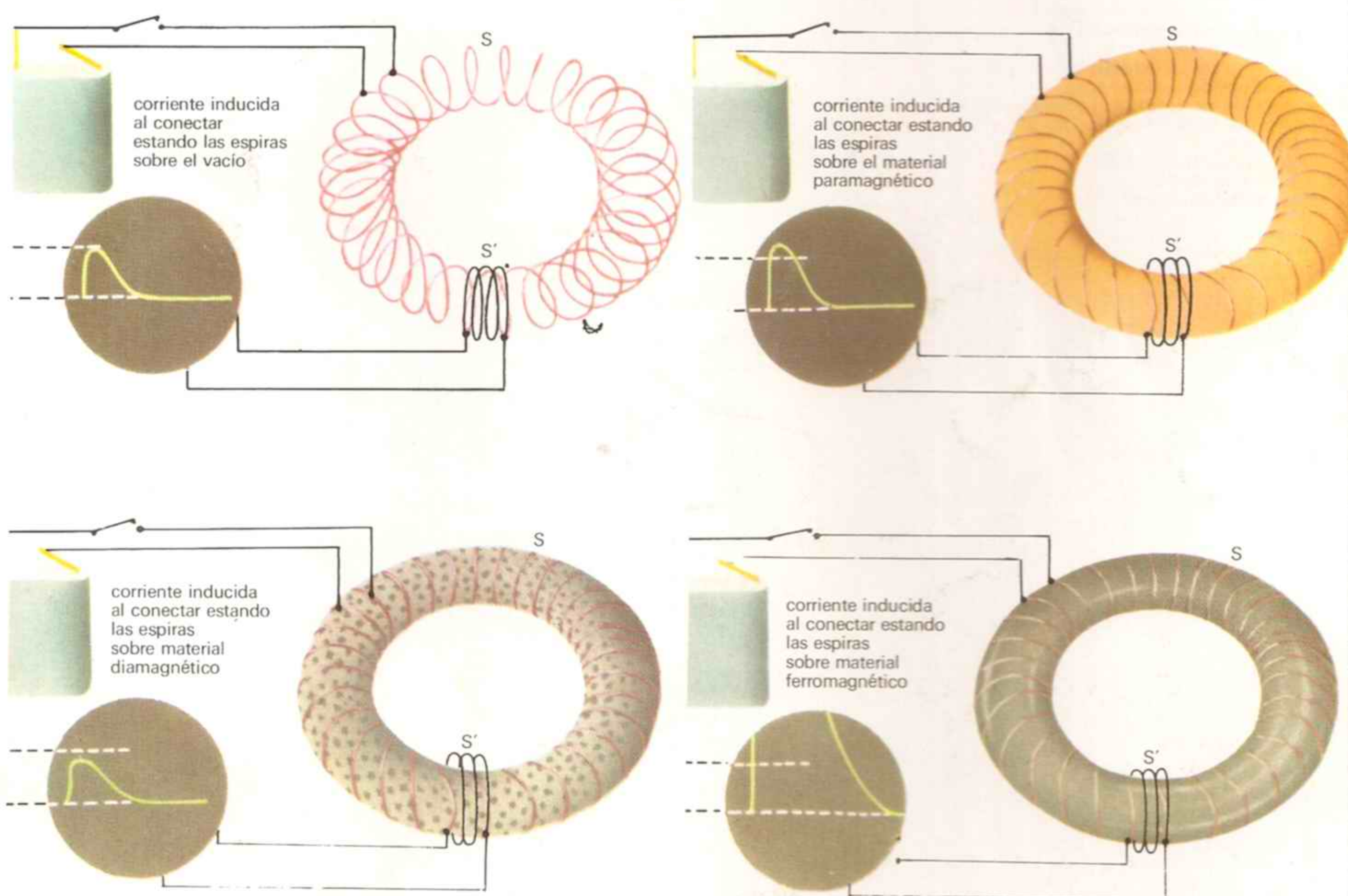
La corriente alterna es el tipo de corriente más utilizado, ya que se usa en la red de distribución de alta tensión y es la que llega a nuestras casas una vez transformada a baja tensión. En Europa y en la mayoría de los países del mundo, la corriente alterna tiene una frecuencia de 50 Hz (circula hacia adelante y hacia atrás 100 veces por segundo), mientras que en Estados Unidos dicha corriente se emplea a 60 Hz de frecuencia.

Existe otro aspecto de la inducción electromagnética que merece atención. Aunque parezca que la corriente eléctrica sale de la nada, no significa que se produzca sin consumir energía. La dinamo de la II Guerra Mundial descrita antes transformaba la energía del brazo del soldado en una energía eléctrica representada por la corriente. Este hecho fundamental no se comprendía hace un siglo, ya que hacia 1880, cuando se fabricaron los primeros generadores, muchos inventores creían que podrían generar electricidad gratis con máquinas de "movimiento perpetuo", aparatos que habrían funcionado permanentemente. Estaban convencidos de que un motor eléctrico podía hacer girar una dinamo que a su vez generaría la corriente para alimentar el motor. La idea es maravillosa y parece una perogrullada, pero nunca funcionó y no puede funcionar porque todas las máquinas tienen unas ciertas pérdidas al transformar un tipo de energía en otro.

Todas las líneas y los motores eléctricos producen un conjunto de campos eléctricos y magnéticos que en general se conocen como *campos electromagnéticos*. Esto se debe a que los campos magnéticos en movimiento producen efectos eléctricos, tanto estando cerca de partículas cargadas como estando lejos. El que un campo magnético variable produzca un campo eléctrico perpendicular a él es uno de los fenómenos más sorprendentes de la Naturaleza. El campo eléctrico produce a su vez un campo magnético, éste a su vez un campo eléctrico y así sucesivamente. Esta sucesión alterna de campos eléctrico y magnético se denomina *onda electromagnética* u *onda de luz*.

Aunque en los dos últimos siglos los científicos han sido capaces de descifrar la red de relaciones entre electricidad y magnetismo, todavía no se ha llegado a saber por qué una partícula cargada en movimiento produce un campo magnético, y ni siquiera lo que es esta "carga." Por tanto nos encontramos todavía en una situación parecida a la de los ciegos y el elefante; sabemos analizar solamente partes aisladas de un fenómeno único, pero no lo vemos en conjunto. Puede que no lleguemos nunca a comprender por qué se producen los fenómenos electromagnéticos o lo que es una carga. Actualmente se piensa que nunca se llegará a comprender lo que son cargas y fuerzas eléctricas y magnéticas mientras se estudien por separado. De acuerdo con este argumento, se debería hacer un estudio en conjunto de todas las fuerzas que existen en la Naturaleza. Un tipo de fuerza nuclear débil se puede describir junto con la electromagnética, de forma que se puede hablar de fuerzas electrodébiles, pero la unificación con otras fuerzas, las nucleares fuertes y las gravitacionales está todavía lejana.

Véase **Fuerzas y campos de fuerza; Luz**




Arriba, algunos experimentos de inducción electromagnética, en cuyos resultados se basa la construcción y funcionamiento de casi todos los aparatos eléctricos, incluidos los aparatos de medida. En estos ejemplos el experimento está enfocado a medir de la mejor forma posible la corriente inducida con formas toroidales de distintos materiales. Estas formas, o el vacío, conducen o canalizan el campo, que hace de intermediario en el fenómeno de inducción. En todos los experimentos, el generador de tensión es una pila (no es necesario que lo sea, pero va bien para estos experimentos). La pila alimenta, a través del interruptor, una espiral inductora (S) y la corriente inducida se obtiene en la pequeña espiral S′. A través de la pantalla de un osciloscopio se puede observar la representación, en función del tiempo, del fenómeno producido en cada caso.

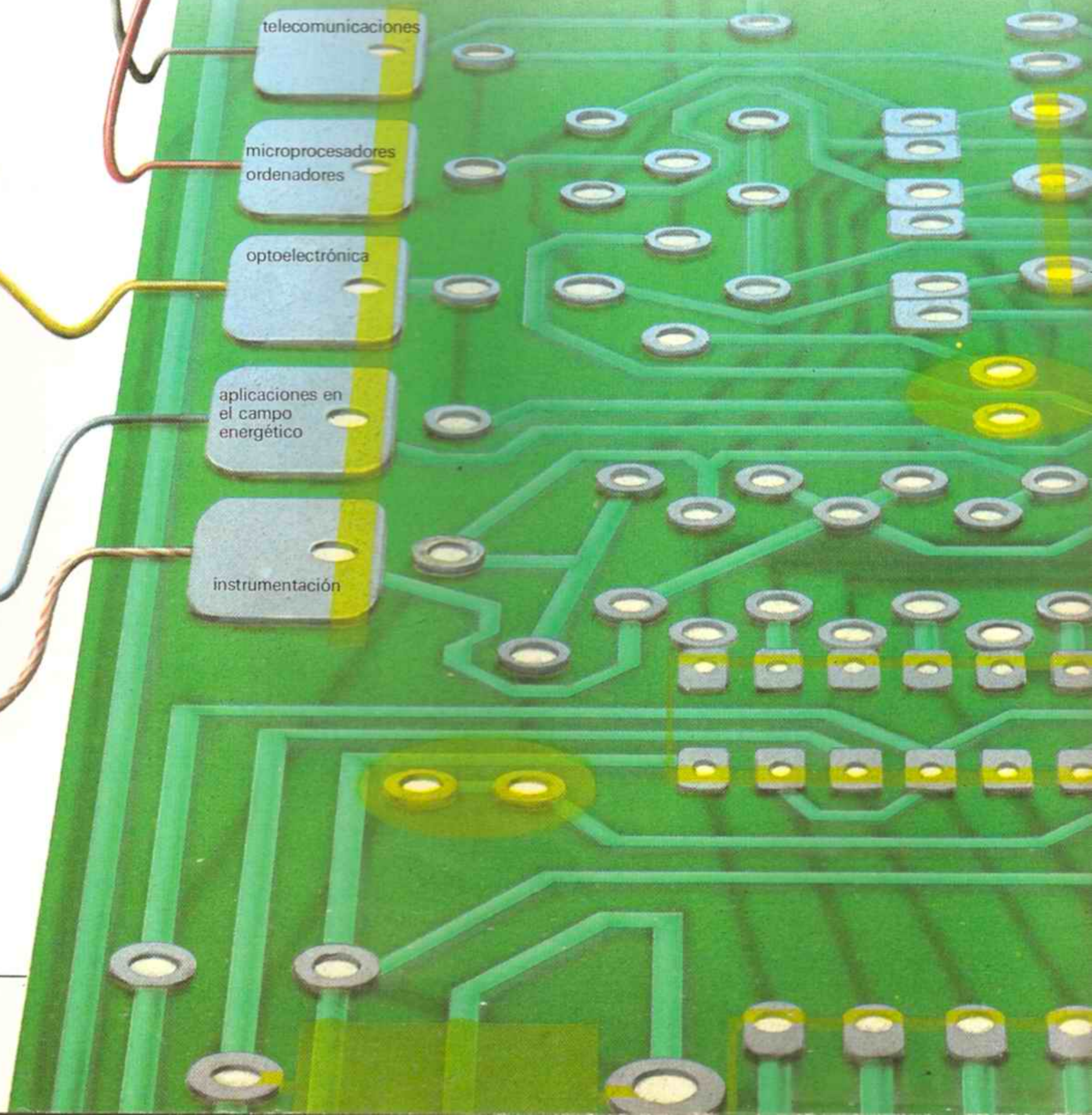
# Electrónica

La tecnología electrónica nació a finales del siglo XIX, cuando se descubrió la posibilidad de controlar y regular el flujo de electrones en el interior de un tubo de vacío. El desarrollo de componentes electrónicos de estado sólido (con semiconductores) y la aparición de los circuitos impresos marcaron, a finales de los años cuarenta, el principio de la segunda generación de la Electrónica: la Electrónica del estado sólido. Actualmente estamos en la tercera generación, que empezó en los años sesenta con el desarrollo de los circuitos integrados, y en el principio de una carrera hacia la integración y miniaturización cada vez mayor de los dispositivos electrónicos.

La *Electrónica* es la rama de la ciencia y de la tecnología que estudia el comportamiento de los electrones y se ocupa de la realización de aparatos cuyo funcionamiento se basa en el comportamiento de los electrones. El primer dispositivo electrónico fue la válvula termoiónica, y en particular la más simple, el *diodo*. Se trata de una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío y donde están colocados dos electrodos conectados a un circuito externo. Uno de ellos es el *cátodo*, filamento metálico (parecido al de una bombilla)

radio,
televisión,
radar,
telefonía: centrales de conmutación,
redes de transmisión de datos,
telemática

proceso de datos,
control de procesos industriales,
automatización robótica,
CAE (*computer aided engineering*, ingeniería asistida por ordenador),
CAD (*computer aided design*, diseño asistido por ordenador),
CAM (*computer aided manufacturing*, producción asistida por ordenador),
aviónica, agrónica, burótica,
proceso de imágenes,
*computer graphics* (representaciones gráficas por ordenador),
sistemas de control de electrodomésticos,
sistemas de control de vehículos,
videojuegos,
fotocomposición, imprenta,
máquinas de escribir,
instrumentos musicales




sistemas de visualización,
diodos emisores de luz (LED),
efectos ópticos,
máquinas fotográficas,
tomavistas,
láser de unión
fibras ópticas

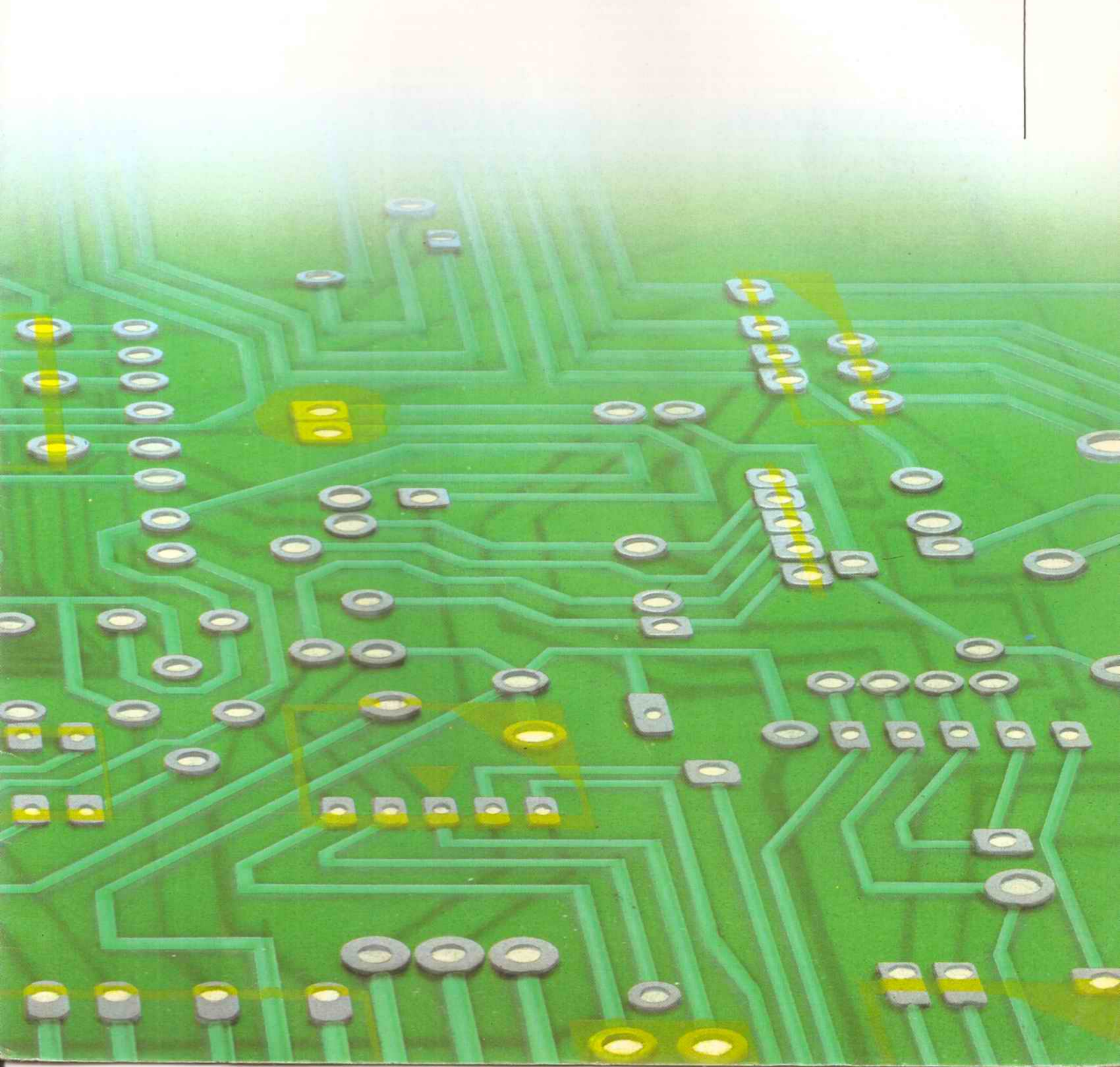
células solares,
generación fotovoltaica

microscopios electrónicos,
aparatos de medida,
instrumentación astronómica,
aparatos de análisis químico automático,
instalaciones para diagnóstico médico (NMR, TAC)

que se calienta hasta que se pone incandescende para que emita electrones al vacío. Cuando el otro electrodo, o *ánodo*, tiene una tensión positiva respecto al cátodo, atrae a los electrones que están flotando en el vacío, con lo que se obtiene así el paso de una corriente eléctrica por el tubo. En cambio, si el ánodo tiene una tensión negativa, rechaza los electrones y no hay paso de corriente. De esta forma, el diodo deja pasar la corriente cuando la tensión aplicada al ánodo es positiva y la bloquea cuando es negativa. Si la tensión aplicada es alterna (como la tensión de la red), funciona como rectificador: la corriente que lo atraviesa circula en un solo sentido, con lo que tiene una componente continua.

En 1906, Lee de Forest inventó el *triodo* añadiendo a un diodo un tercer electrodo, con el que se puede controlar el paso de corriente por el dispositivo aplicándole una tensión. Con un montaje adecuado se puede conseguir que la tensión entre rejilla y cátodo aparezca aumentada entre ánodo y cátodo, por lo que el triodo se utiliza como amplificador.

En 1948 se dio un gran paso con la invención del *transistor*, obra de un grupo de investigadores de los laboratorios de la Bell Telephone: John Bardeen, Walter H. Brattain y William Schockley, que recibieron el Premio Nobel en 1956 por sus trabajos en este tema. El transistor es un componente que realiza prácticamente las mismas funciones que un triodo, pero en este caso la corriente no pasa a través del vacío o de un gas, sino que atraviesa un sólido formado por un material semiconductor, como el germanio o el silicio. Los semiconductores son materiales que presentan propiedades intermedias entre un conductor (como los metales, que conducen bien la corriente) y un aislante (que en cambio impide el paso de corriente).



Además, se puede modificar el comportamiento de un semiconductor, según las necesidades, introduciendo en un cristal puro de este material determinadas impurezas, procedimiento que se denomina *dopaje*. Por ejemplo, se puede dopar un cristal de silicio (elemento que tiene cuatro electrones en su nivel electrónico externo) con átomos de fósforo (elemento que tiene cinco electrones en su nivel externo) o de aluminio (que tiene tres electrones en su nivel externo). Los átomos de fósforo o de aluminio sustituyen a algunos de los átomos de silicio en el cristal, con lo que se produce un exceso de electrones (dopaje con fósforo) o un defecto (dopaje con aluminio). Cuando en un determinado punto del cristal un átomo de aluminio ha sustituido a un átomo de silicio, falta un electrón en un átomo de silicio contiguo al de aluminio; se dice entonces que hay un "hueco", debido a que en este punto hay una carga positiva por tener el núcleo cuatro protones (positivos) y estar rodeados por tres electrones (negativos). Los electrones y los "huecos" se pueden mover por el interior del cristal y conducir corriente. Un semiconductor dopado se dirá que es de tipo *N* cuando presente un exceso de electrones y de tipo *P* cuando presente un defecto de electrones. Combinando zonas de semiconductor de tipo *N* y de tipo *P*, se pueden conseguir distintos tipos de componentes electrónicos de dimensiones muy reducidas, ya que los defectos deseados se pueden obtener con pequeñas zonas de silicio. De esta forma se ha conseguido condensar grandes cantidades de componentes en superficies pequeñas, formando circuitos integrados de complejidad cada vez mayor.

**Circuitos electrónicos** Para que una válvula, un diodo o un transistor puedan realizar alguna función, es necesario conectarlos a otros componentes electrónicos formando un determinado circuito. Incluso los ordenadores modernos más complicados están formados por un gran número de componentes que pertenecen a unos pocos tipos elementales. En un proyecto de electrónica es más importante la definición del circuito que los componentes elementales utilizados, que son prácticamente los mismos en todas las aplicaciones.

En los primeros circuitos, las conexiones entre las válvulas se hacían con hilos conductores normales. A medida que se han ido reduciendo las dimensiones de los componentes electrónicos, los elementos de conexión se han hecho también más pequeños: actualmente se hacen con tiras de cobre adheridas a la placa de soporte (en los circuitos impresos) y con tiras de plata sobre el silicio (en los circuitos integrados).

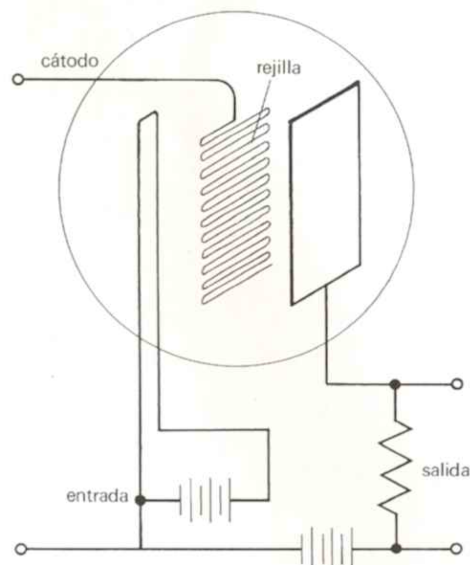
**Optica y Electrónica** Entre las aplicaciones más interesantes de la Electrónica se puede recordar, junto a los microprocesadores y ordenadores que han invadido una gran parte de nuestras actividades cotidianas, las aplicaciones de los fenómenos fotoeléctricos, es decir, de la generación de electricidad a partir de energía luminosa. Existen dispositivos electrónicos semiconductores orientados al aprovechamiento de este efecto: cuando la luz ilumina el dispositivo, sus fotones arrancan electrones de los átomos, generando cargas que, por la existencia de un campo eléctrico, circulan a lo largo del circuito exterior. Este principio se utiliza en la generación fotovoltaica de electricidad con células solares, que aprovechan la energía de la luz del sol. En realidad esta tecnología se desarrolló para su utilización en técnicas espaciales, pero está teniendo una aplicación cada vez mayor en las necesidades cotidianas.

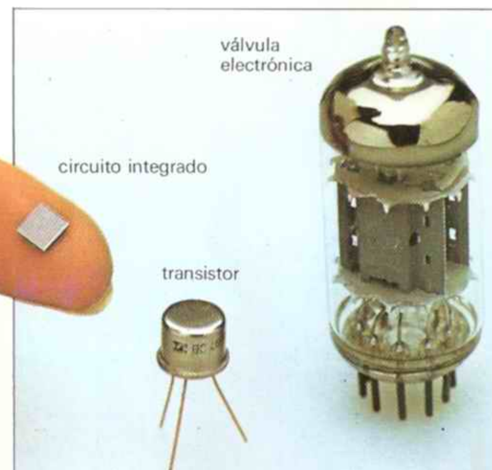
El efecto inverso del anterior es la emisión de luz por un determinado dispositivo semiconductor cuando lo atraviesa una corriente eléctrica. En este fenómeno están basados los LED (diodos de emisión luminosa) que se pueden encontrar en múltiples aplicaciones, como en algunos relojes digitales, en pantallas de calculadoras, en indicadores de los salpicaderos de los coches e incluso en algunos electrodomésticos. Esta rama de la Electrónica, llamada *Optoelectrónica*, ha tenido también aplicaciones interesantes en campos como el láser y la transmisión por fibra óptica: el láser de unión es un diodo LED en el que se ha cuidado mucho su proyecto.

**Otros desarrollos** Debido a las pequeñas dimensiones y a la gran flexibilidad, los dispositivos electrónicos han tenido aplicación en un número creciente de campos, crecimiento que actualmente es mayor debido a la incorporación de microprocesadores y ordenadores en múltiples procesos. Muchos dispositivos electrónicos funcionan como sensores o transductores (transforman presión, temperatura, intensidad de radiación, etc., en señales eléctricas). Un gran número de instrumentos de laboratorio e industriales se basa en principios electrónicos, como es el caso de reproductores de imágenes, del microscopio electrónico y del radiotelescopio, por no hablar de las innumerables aplicaciones de los objetos que utilizamos todos los días, como el teléfono, la radio o el televisor.

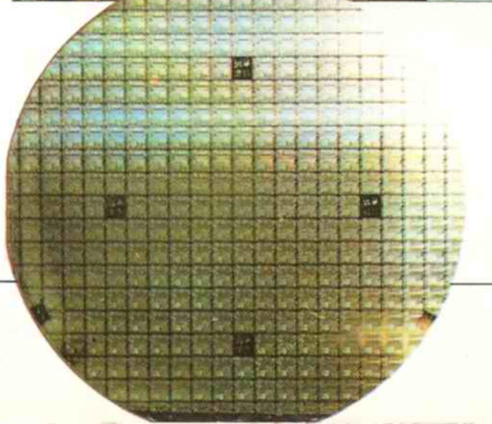
La Electrónica es la protagonista de una revolución que se está produciendo bajo nuestros ojos y que a través de la Automatización, la Robótica y la Telemática promete traer cambios nuevos y aún más profundos a nuestra vida.

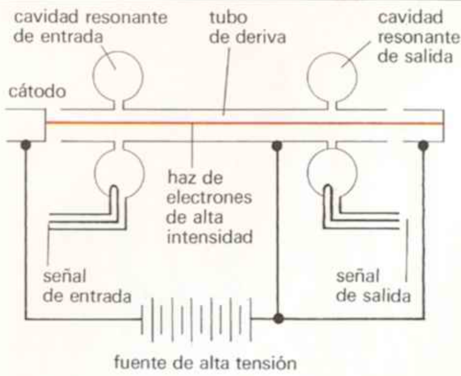
Véase **Automatización; Circuito impreso; Circuito integrado; Diodo; Diodo de emisión luminosa (LED); Energía solar; Miniaturización; Optoelectrónica; Robótica; Telemática; Transistor**





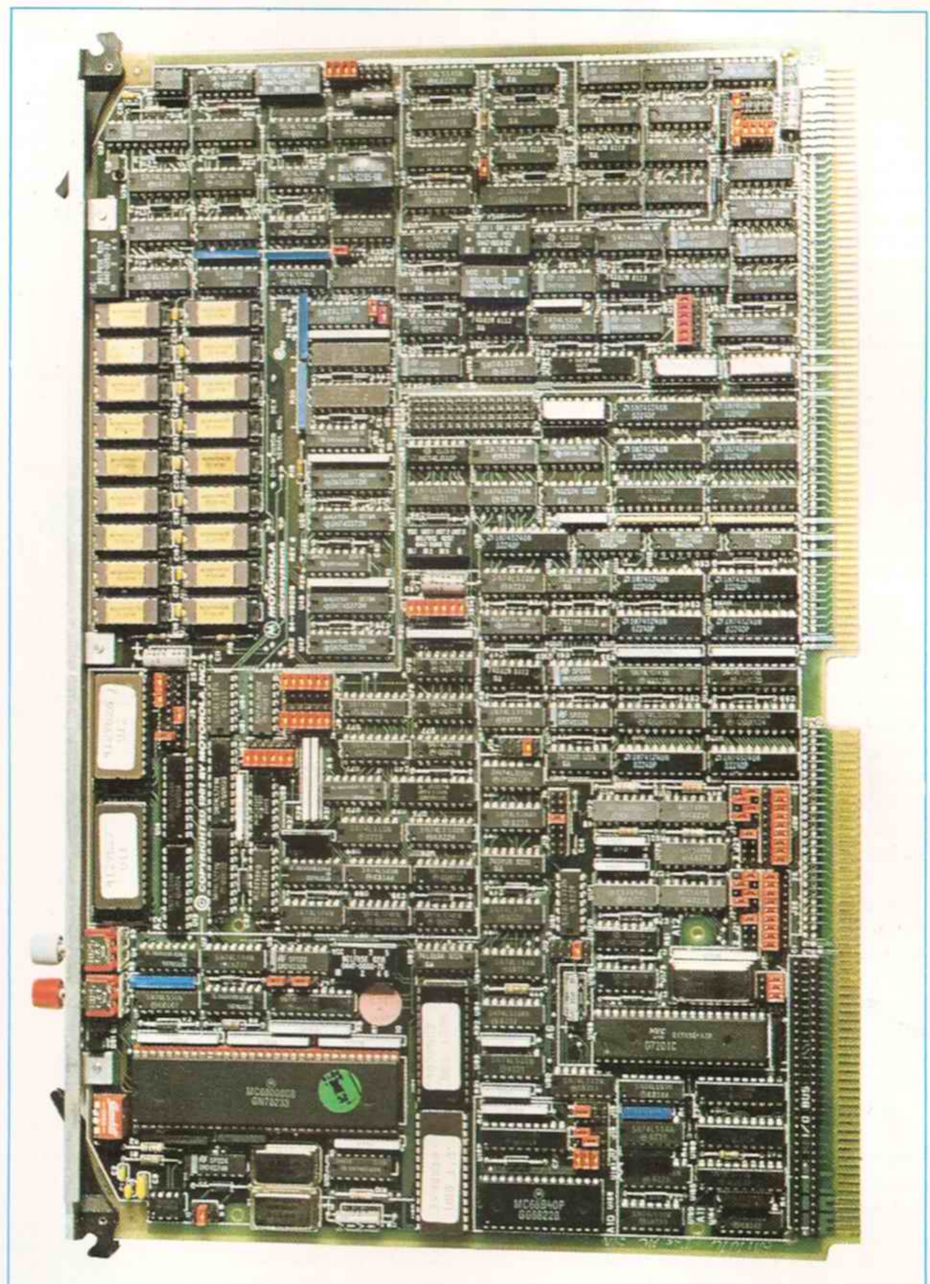



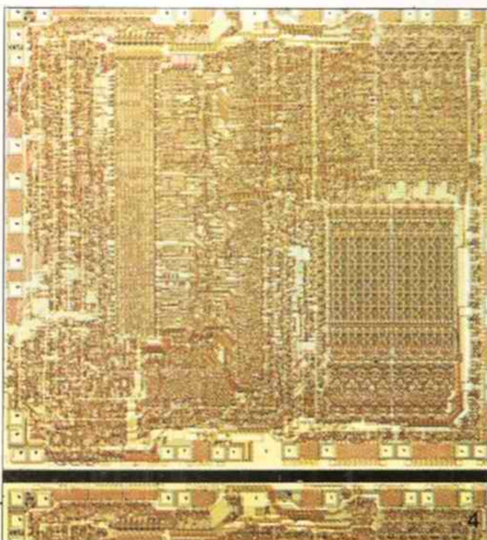



El triodo, esquematizado en la página anterior, es simplemente un tubo de vacío con tres elementos: el cátodo que emite electrones, la rejilla que controla el paso de electrones (la corriente) y la placa (ánodo) que recoge los electrones. El triodo se utiliza como amplificador.

El klystron (arriba) es un tubo de vacío utilizado en los radar y en las comunicaciones espaciales para amplificar señales de alta frecuencia: las señales modulan un flujo de electrones en la primera cavidad resonante y ese flujo genera un campo eléctrico fuerte en la cavidad resonante de salida.

En la página anterior pueden compararse los tamaños de una válvula termoiónica de un transistor y de un circuito integrado (la plaquita sobre el dedo). Inmediatamente debajo puede verse una fase de fabricación de los *chip*: una serie de pastillas redondas de silicio llamadas *obleas*, se extrae de un horno en el que ha recibido uno de los múltiples tratamientos. En la figura inferior y a su tamaño real, una oblea en la que se han integrado centenares de *chip*. Un *chip* que puede estar en la yema de un dedo tiene tantos transistores como los que caben en una escudilla (abajo a la derecha). El *chip* en el que se ha realizado un circuito electrónico complejo, una vez encapsulado en su cápsula protectora, se puede montar junto con otros muchos *chip* en una tarjeta como la que está reproducida bajo estas líneas. Una de estas tarjetas de circuito impreso, dependiendo de los componentes y del montaje, puede ser una unidad central de proceso o una unidad de memoria o de entrada-salida de un ordenador.







# Electroquímica

Análogamente a la relación existente entre magnetismo y electricidad, existe también una relación entre química y electricidad. En efecto: las transformaciones químicas pueden generar electricidad, mientras el movimiento de los electrones, es decir, la corriente eléctrica, puede a su vez determinar transformaciones en algunas sustancias. La Electroquímica es el estudio de las transformaciones químicas asociadas al paso o a la creación de una corriente eléctrica.

Los procesos electroquímicos fueron estudiados por el científico italiano Alessandro Volta, el cual inventó el prototipo de la batería, conocida como *pila vóltica*, constituida por capas alternas de discos de cobre y hierro o cinc separadas por un tejido embebido de una solución ácida. Aunque las modernas baterías han mejorado notablemente respecto a la pila voltaica, su funcionamiento sigue siempre el mismo principio.

Las reacciones electroquímicas en las baterías recargables pueden ocurrir en ambos sentidos. Una reacción química se emplea para generar una corriente eléctrica, o, alternativamente, la electricidad puede usarse para generar transformaciones químicas de sentido opuesto. Las baterías normalmente usadas en las linternas de bolsillo y en los transistores, llamadas *pilas secas*, no son sin embargo, recargables.

**Los procesos electroquímicos** Diversos e importantes procesos industriales se han basado en la Electroquímica. La electrólisis, es decir, la descomposición de las moléculas por medio de la corriente eléctrica, se emplea, por ejemplo, en la producción de aluminio y de magnesio, así como en la producción de cloro, hidrógeno e hidróxido sódico a partir de soluciones de cloruro sódico.

Otro importante proceso industrial es la electrodeposición, es decir, el depósito de un metal en un cátodo a partir de una solución de iones metálicos. Este procedimiento se usa para revestir metales comunes con capas más o menos finas de metales como la plata, el cadmio, el níquel o el cromo.

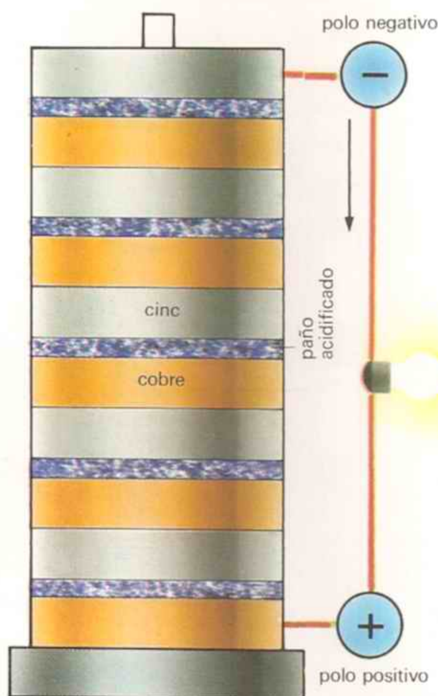
La electrorrefinación se emplea para refinar los metales. El metal impuro es depositado en el ánodo, mientras en el cátodo se obtiene el metal puro.

La electroformación representa una variante de la electrodeposición y permite reproducir un determinado objeto. En este proceso se aplica sobre el objeto, para convertirlo en conductor, primeramente una capa fina metálica, depositándose después por vía electrolítica una capa metálica sobre el objeto mismo. Para obtener la reproducción del original, se separa esta última del objeto y se le da cuerpo con material de relleno.

La Electroquímica representa un instrumento de la Química analítica. Las técnicas electroanalíticas permiten medir selectivamente los iones presentes en un sistema de corriente eléctrica. Una medida común en electroanalítica es aquella del pH efectuada con el uso de oportunos electrodos.

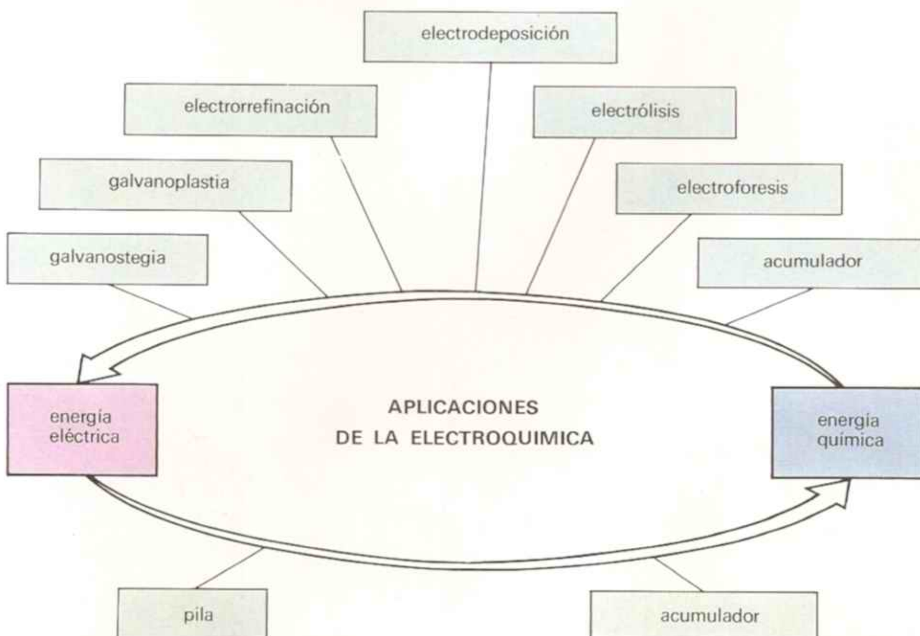
Por vía electroquímica se hacen pasar iones a través de membranas naturales y sintéticas, en los procesos de desalación de agua. También la generación y la transmisión de los impulsos nerviosos tienen lugar a través de un proceso electroquímico.

Véase **Bioelectricidad; Electroforesis; Electrólisis; Galvanización; Química**




Arriba, esquema de una celda electrolítica que muestra el funcionamiento: 1) electrodo de cinc; 2) electrodo de cobre; 3) pared porosa; 4) solución de una sal de cinc; 5) solución de una sal de cobre. El cinc pasa a la solución formando iones positivos y liberando electrones, mientras los iones de cobre tienden a depositarse en el electrodo y a adquirir electrones. Uniendo con un circuito externo los dos electrodos, se establece un flujo de electrones del electrodo de cinc al de cobre.

A la izquierda de estas líneas, esquema de una pila voltaica, formada por una secuencia de discos sobrepuestos constituidos respectivamente de cobre, paño mojado con agua acidificada y cinc. En los dos extremos de la pila, constituidos por un disco de cobre y uno de cinc, se forma una diferencia de potencial activa llamada *fuerza electromotriz*. Abajo, las principales correlaciones existentes entre la energía bajo forma química y la energía bajo forma eléctrica.



Esquema del funcionamiento de una pila Daniel constituida por un electrodo de cinc y uno de cobre, sumergidos respectivamente en una solución de sulfato de cobre y separados por una pared porosa. En el electrodo de cinc (polo negativo), el cinc metálico libera dos electrones, los cuales recorren el circuito eléctrico externo y se dirigen al electrodo de cobre (polo positivo), donde son capturados por los iones de cobre, que se transforman así en átomos de cobre metálico.

resistencia externa

recorrido de los electrones

(−) electrodo negativo

(+) electrodo positivo

2e

$2e^-$

$Zn \rightarrow Zn^{++}$ $2e^-$

Zn

$SO_4$

Cu

$Cu^{++} + 2e^- \rightarrow Cu$

cinc (Zn)

$Zn^{++}$

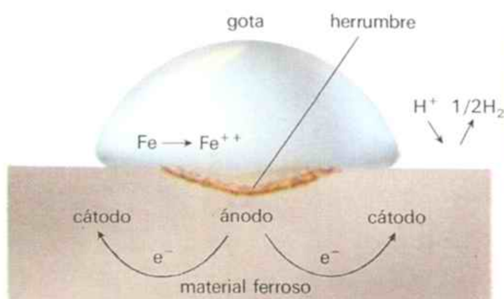
$Cu^{++}$

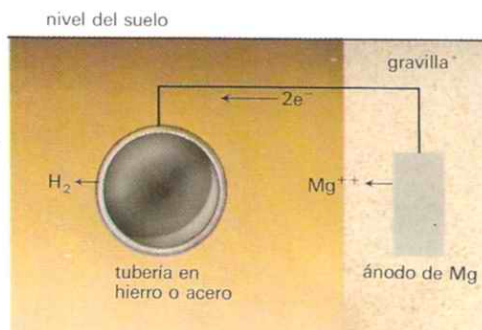
cinc (Zn)

solución de sulfato de cinc $ZnSO_2$

pared porosa

solución de sulfato de cobre $CuSO_4$




Dos fenómenos electroquímicos que suceden normalmente en nuestro entorno: a la izquierda, esquema del proceso de corrosión del hierro en contacto con la humedad y formación de herrumbre. En el esquema se indica lo que hace la función del cátodo y del ánodo y el recorrido de los electrones perdidos por el hierro. A su derecha, un esquema de protección catódica. A una tubería de acero o hierro, que hace de cátodo, se une un elemento de cinc o magnesio, que hace de ánodo.

# Elementos químicos

La Química moderna ha establecido como seguro que todas las sustancias químicas identificadas hasta ahora (casi dos millones) están formadas a partir de 89 sustancias simples que se encuentran en la Naturaleza y que son denominadas *elementos*.

Se ha impuesto otro hecho también incuestionable: todas las sustancias están constituidas por partículas elementales que pueden tener identidad química independiente y que reciben el nombre de *átomos*.

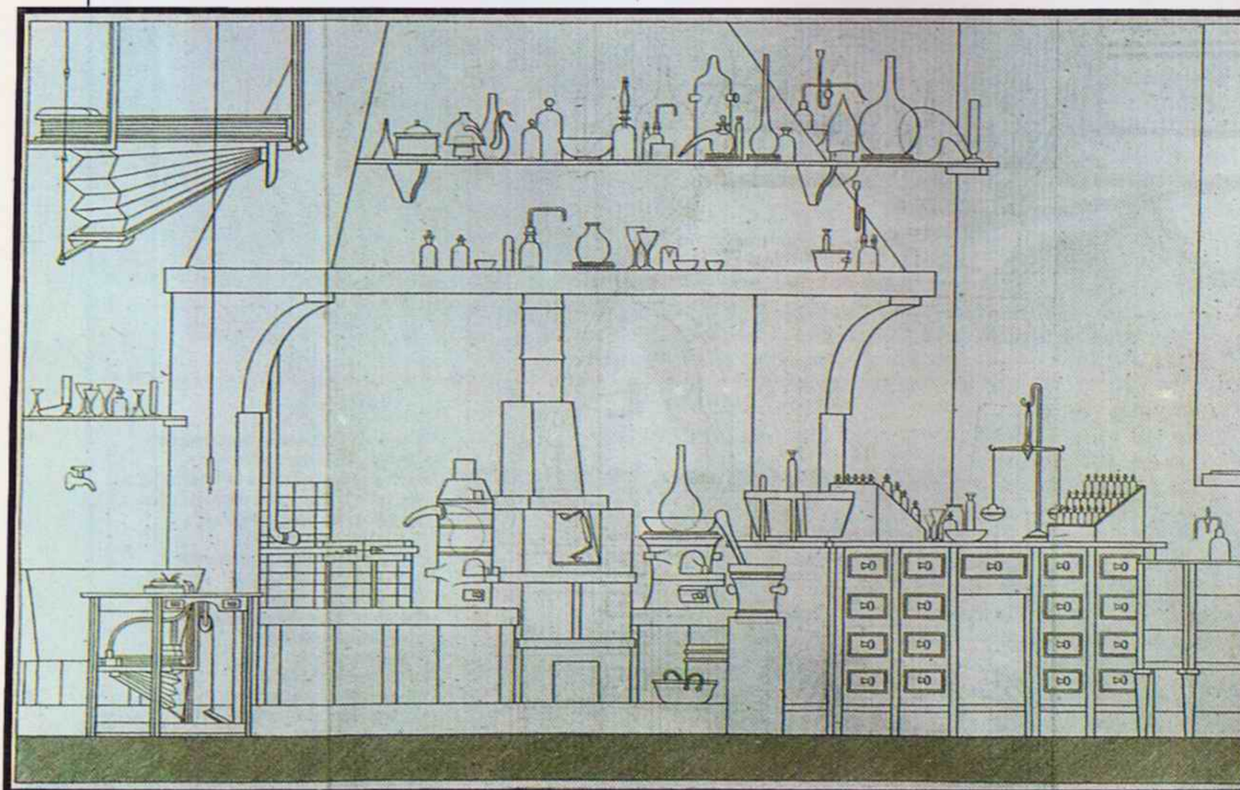
Ya en el siglo V a. de C. los filósofos griegos Leucipo y Demócrito enseñaban que la materia estaba constituida por partículas muy pequeñas separadas por espacios vacíos. Sus discípulos dieron a esas partículas el nombre de *átomos*, que en griego significa "indivisible". Sin embargo, estas teorías, meramente especulativas y sin base experimental, fueron olvidadas y durante toda la Edad Media se desarrolló la alquimia, cuyos métodos eran poco científicos. Fue Robert Boyle quien, rompiendo con la tradición alquimista, introdujo en 1661 el concepto de "elemento" como "cuerpo simple que no está formado de otros cuerpos... y en que se resuelven en último término todos los cuerpos perfectamente mixtos". El concepto de "elemento" fue desarrollado posteriormente, en la segunda mitad del siglo XVIII, por Lavoisier, quien incluso hizo un intento de clasificación de los mismos.

Según la teoría atómica, los elementos químicos o sustancias simples son las sustancias constituidas por átomos químicamente iguales. Así, por ejemplo, en un diamante puro todos los átomos (de carbo-

**CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS DE LAVOISIER**

| | |
|---|---|
| Sustancias simples, pertenecientes a los tres reinos de la Naturaleza, que pueden ser considerados como elementos de los cuerpos | luz<br>calor<br>oxígeno<br>nitrógeno<br>hidrógeno |
| Sustancias simples no metálicas, oxidables y que forman ácidos | azufre<br>fósforo<br>carbono<br>radical muriático<br>radical fluorhídrico<br>radical bórico |
| Sustancias simples que forman sales terrosas | cal<br>magnesia<br>barita<br>alúmina<br>sílice |
| Sustancias simples metálicas, oxidables y que forman sales | antimonio<br>plata<br>arsénico<br>bismuto<br>cobalto<br>hierro<br>manganeso<br>mercurio<br>molibdeno<br>níquel<br>oro<br>plomo<br>platino<br>cobre<br>estaño<br>tungsteno<br>cinc |

El origen de los elementos se ha explicado recurriendo a numerosas teorías. Entre las más actuales, aquélla que sostiene el origen de los elementos en las estrellas a partir del hidrógeno es la que tiene más aceptación. Según esta teoría, en la formación de los elementos son precisos ocho procesos distintos que se suceden en diferentes fases de la vida de las estrellas. En un principio se produce la transformación de hidrógeno en helio. En el segundo proceso se forma carbono, oxígeno y neón. En el sucesivo proceso $\alpha$ se forman núcleos con peso atómico hasta 48. En el proceso *e* se llega a la producción de núcleos estables, como el hierro, que poseen la energía más elevada de unión entre los nucleones (neutrones y protones) respecto a cualquier otro elemento. En el proceso *s* se produce la captura de neutrones que permiten la creación de elementos que no se habían formado antes, de peso atómico intermedio. En el proceso *r* tiene lugar una captura rápida de neutrones con formación de muchos isótopos de elementos pesados. El proceso *p* permite la producción de núcleos pesados que no se forman por captura de neutrones; y, por fin, el proceso *x* da cuenta de la producción de elementos ligeros, como el litio, berilio y boro. La tabla de la página siguiente ilustra el conjunto de los citados pasos. La primera clasificación de los elementos químicos en su sentido actual fue concebida por Lavoisier en 1789: la tabla superior está extraída de su obra *Traité élémentaire de Chimie*.



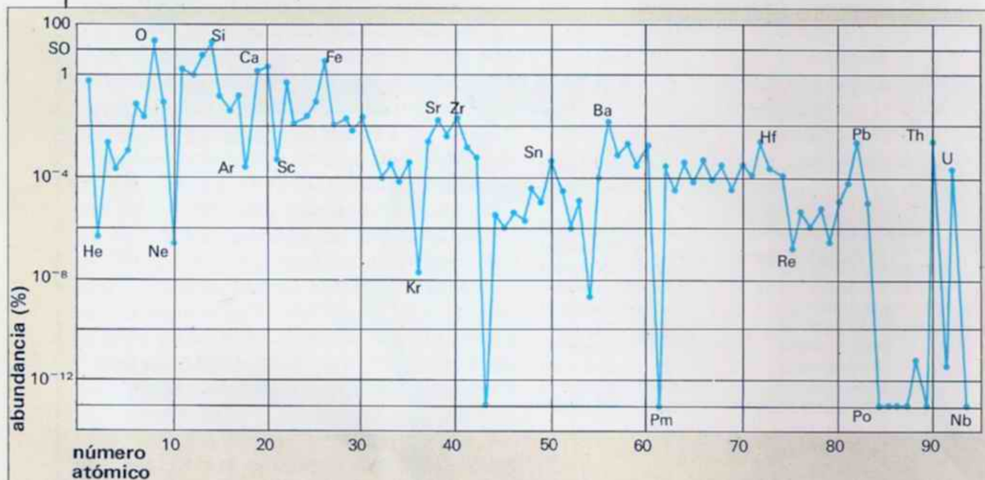
A la izquierda, grabado de un típico laboratorio químico de comienzos del siglo XIX: la búsqueda empírica y los curiosos alambiques dispuestos sobre los estantes nos indican una ciencia aún incipiente, donde, por ejemplo, la potasa era conocida fantasiosamente por "tierra tártara de Muller". (Grabado de Manuel Esquivel de Sotomayor, 1804.)

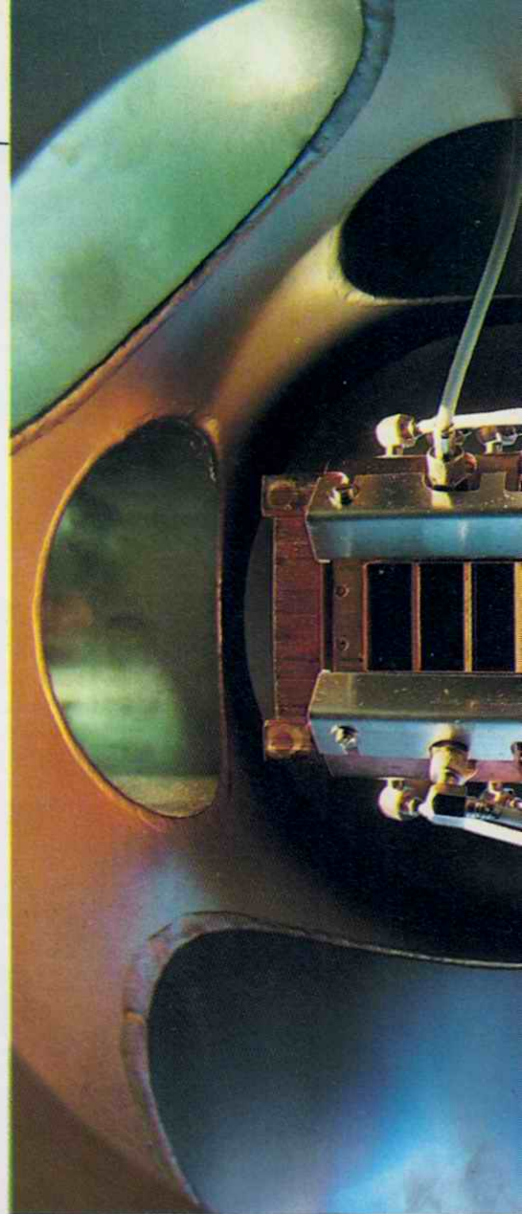
Archivo Histórico-Médico de la Universidad de Valencia

transformación de hidrógeno

H
He
proceso $x$
CN
$^{12}C$
$^{13}C$
$^{14}N$
$^{15}N$
$^{12}C$
n
$^{16}O$
$^{18}O$
n
$^{20}Ne$
$^{21}Ne$
$^{22}Ne$
$^{23}Na$
$^{30}Ne$
procesos lentos
$^{24}Mg$
proceso $e$
proceso $\alpha$
$^{31}P$
reacciones nucleares en equilibrio
grupo del hierro
proceso $p$
procesos lentos de captura
proceso s
elementos pesados
$^{50}Ti$
decaimiento $\alpha$
procesos rápidos de captura
elementos posteriores al bismuto

transformación de H y He
captura de neutrones con procesos rápidos
proceso $p$
captura de neutrones
procesos catalíticos
decaimiento $\alpha$ o fisión
transformación inicial de H
procesos en equilibrio
n = neutrones



El 29 de agosto de 1982, a las 16 horas y 10 minutos, se consiguió producir el elemento sintético 109, el más pesado hasta ahora conocido. El hecho ha coronado la búsqueda emprendida por algunos científicos con el acelerador de Darmstadt, en Alemania Occidental. Durante quince días átomos de bismuto fueron bombardeados con átomos de hierro ionizados, con energía más bien baja. En la síntesis del elemento 109, que no tiene aún un nombre y cuya vida es de pocas milésimas de segundo, la máquina aceleradora ha disparado algo así como seiscientos mil billones de iones hierro sobre el bismuto. Arriba, la imagen del revelador de la máquina aceleradora que ha permitido la síntesis del elemento 107 y del elemento 109. El acelerador tiene una longitud de 112 metros y puede conseguir que los iones alcancen una energía de 20 MeV (MeV = Megaelectronvoltio).

no) son iguales químicamente y están unidos entre sí mediante enlace químico (enlace covalente), constituyendo una red cristalina. El oro, otro elemento que se encuentra libre en la Naturaleza, está constituido por átomos de este elemento unidos entre sí mediante un enlace químico (enlace metálico).

Desde la antigüedad prehistórica se han conocido algunos de estos elementos: oro, cobre, estaño, hierro, etc. Otros como el mercurio, azufre, plomo y cinc fueron obtenidos posteriormente. La mayor parte de los que se encuentran en la Naturaleza fueron descubiertos durante el siglo XIX, quedando para nuestros días el hallazgo de los elementos transuránicos, que no se encuentran en la Naturaleza y han sido sintetizados en el laboratorio.

El nombre de cada elemento, en particular los de reciente descubrimiento, ha sido asignado siguiendo distintos criterios: nación o lugar donde ha sido encontrado, nombre del científico descubridor, referencia a una propiedad peculiar, etc. Por ejemplo, francio y germanio (de Francia y Alemania), curio (de los esposos Curie), einstenio (de Albert Einstein), cromo (del término griego que significa "color"), bromo (del término griego que significa "hedor").

Cada átomo, representante de cada elemento, es identificado en el lenguaje químico por un símbolo. Los símbolos actuales fueron sugeridos en 1815 por Berzelius, quien propuso para ello la primera letra mayúscula del nombre latino del elemento, seguida en algún caso de otra minúscula. Así, *O* es el símbolo del oxígeno, *S* del azufre (*sulphur*), *Hg* del mercurio (*hydrargyrum*), *Ag* de la plata (*argentum*) y *Fe* del hierro (*ferrum*). El símbolo del tungsteno es *W* del nombre alemán *wolfram* (wolframita), mineral del que fue obtenido en 1783 por los hermanos españoles Elhuyar.

**Propiedades y clasificación** A temperatura ambiente, once elementos son gaseosos, dos (bromo y mercurio) líquidos, y los restantes, sólidos. De los 108 elementos conocidos a finales de 1982, existen en la Naturaleza 89 y los 19 restantes han sido obtenidos sintéticamente en diversos laboratorios.

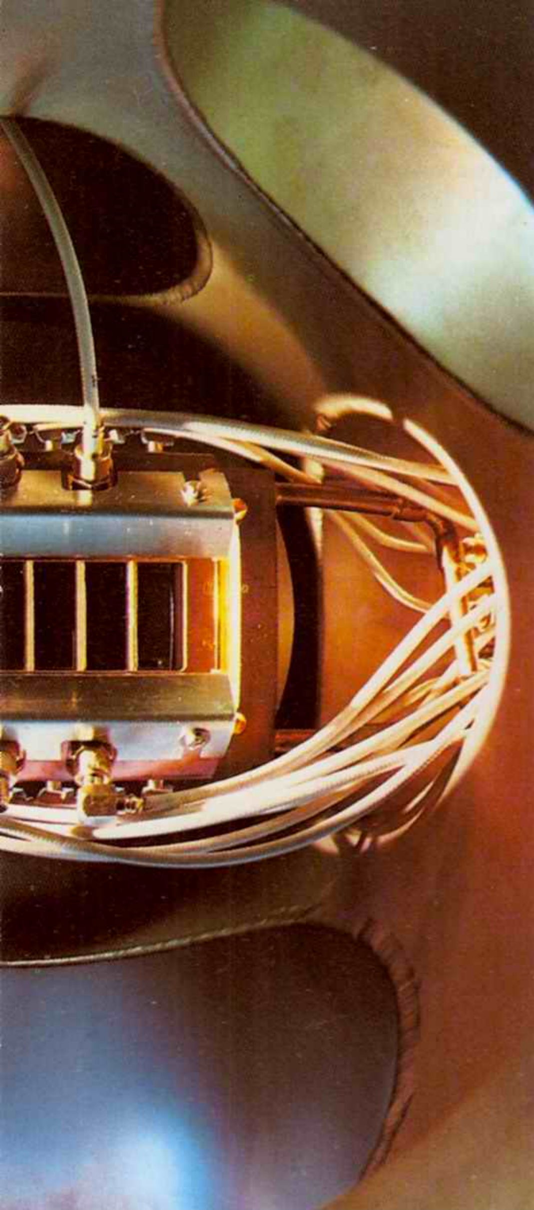
Los elementos se vienen clasificando, desde Lavoisier, en dos grupos: los *metales*, caracterizados por su excelente conductividad eléctrica y térmica, y los *no metales*, que son aislantes tanto eléctricos como térmicos.

Muchas de las propiedades de los elementos, tanto químicas como físicas, pueden predecirse conociendo la estructura de los átomos, relacionada a su vez con la situación de los elementos en la tabla periódica. La clasificación de los elementos fue llevada a cabo en el año 1869, casi al mismo tiempo y siguiendo criterios similares, por D. Mendeleiev (ruso) y L. Meyer (alemán). En la clasificación de Mendeleiev los elementos fueron situados por orden creciente de su peso atómico, agrupando al mismo tiempo aquellos elementos que tenían propiedades afines. En la clasificación actual la ordenación se hace teniendo en cuenta el número atómico en lugar del peso atómico.

**Estructura atómica** Un modelo atómico familiar fue el establecido por Rutherford a principios de este siglo. Los electrones (cargados negativamente) giran en torno al núcleo atómico formado por protones (con carga positiva) y neutrones (sin carga). Un átomo neutro tiene el mismo número de protones que de electrones. El número de protones de un átomo determina el *número atómico*, uno de los dos números que identifican a un átomo; el otro es el *número másico*, que equivale a la suma de protones y neutrones. Por encontrarse estas dos partículas en el núcleo son denominadas *nucleones*.

Aunque todos los átomos de un mismo elemento tienen el mismo número atómico, pueden diferir en el número másico, es decir, en el número de neutrones. A cada átomo de un elemento que difiere en el número de neutrones respecto a otro de ese mismo elemento se le denomina *isótopo* de ese elemento, y al conjunto de isótopos de un mismo elemento, *pléyade*. Se conocen cerca de 1.700 isótopos de todos los elementos descubiertos, recibiendo la denominación de *nucleidos* cuando se hace referencia a la constitución de los núcleos y no al átomo completo.

**Abundancia en la Naturaleza** Apenas 8 elementos constituyen cerca del 99% en peso de la corteza terrestre. El oxígeno aporta casi el 50%, el silicio el 25%, el aluminio el 8%, y el resto es, por orden, hie-



rro, calcio, sodio, potasio, magnesio y otros elementos. Sin embargo, el núcleo de la Tierra, de unos 3.400 km de diámetro, está constituido principalmente por hierro y en menor proporción por níquel y por otros elementos.

El hombre se beneficia de los elementos que se encuentran en la corteza de la Tierra. Curiosamente, muchos de los elementos que son la base del progreso económico y técnico, como la plata, el cobre, el cinc, el estaño y el oro, son raros sobre la Tierra y aún más en el Universo.

En el Universo, la abundancia y distribución de los elementos son sustancialmente distintas que en la Tierra. Se estima que el 75% de la masa del Universo está constituido por el primero y más simple de los elementos, el hidrógeno, cuyos átomos, en número, totalizarían el 99% de todos los átomos, siguiéndole en importancia el helio. Teorías modernas sostienen la génesis de todos los átomos presentes en el Universo a partir del hidrógeno.

Los elementos hidrógeno, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre son esenciales para la vida. El carbono, en particular, está presente en casi todos los compuestos de especial importancia biológica. Este elemento ha dado nombre a una parte de la Química, *(Química del carbono,* antes denominada *Química orgánica)* que abarca el 90% de los compuestos conocidos. Otros elementos, como el sodio, potasio, magnesio, hierro y calcio están también presentes en los procesos vitales.

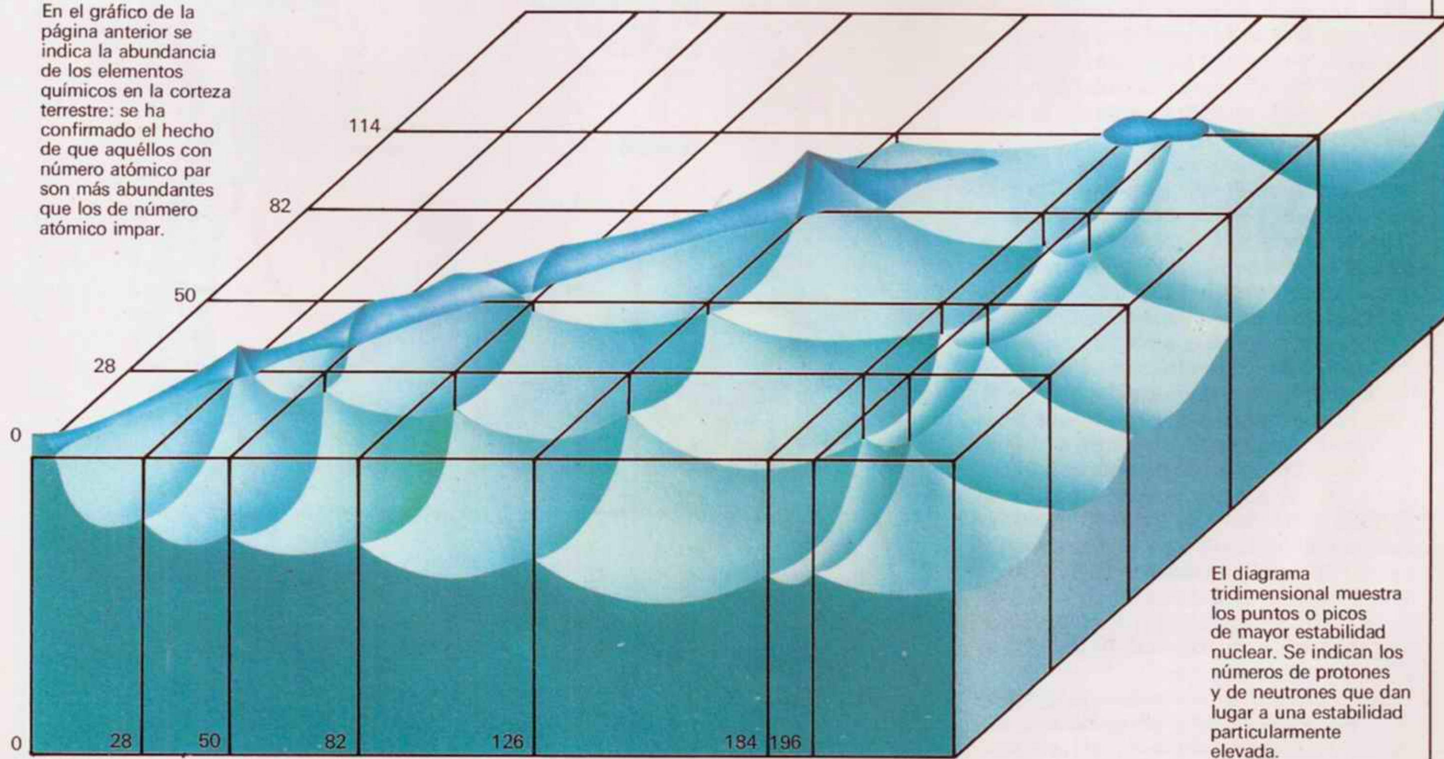
**Los elementos más nuevos y pesados** El uranio es el elemento más pesado que tiene una abundancia notable en la Naturaleza. Vestigios de un elemento más pesado que el uranio, un isótopo del plutonio, han sido encontrados en meteoritos y en la Tierra.

Como se ha indicado anteriormente, los elementos transuránicos han sido obtenidos artificialmente en el laboratorio. El último descubierto fue el de número atómico 109 (en 1982). Todos los elementos transuránicos son radiactivos, es decir, por su inestabilidad se fragmentan espontáneamente dando origen a elementos más ligeros y emitiendo partículas subatómicas y otras radiaciones. Además de estos elementos pesados hay algún otro radiactivo como el francio y el polonio, casi todos los elementos tienen también algún isótopo radiactivo.

Generalmente, cuanto más pesado es un elemento inestable, tanto más breve es su período de semidesintegración, tiempo necesario para que la mitad de cierto número de átomos de ese elemento se haya desintegrado. Así, el del isótopo de uranio de número atómico 92 y número másico 238 es de 4.500 millones de años, mientras que el del laurencio (número atómico 103 y número másico 260) es de tan sólo 8 segundos. Los elementos que siguen al laurencio son aún más inestables y esto dificulta la obtención de estos elementos superpesados. Sin embargo, según la previsión teórica, podría obtenerse un grupo hipotético de estos elementos, comprendidos entre los números atómicos 114 y 126, de relativa estabilidad. Si se consiguiera llegar a esta llamada "isla de estabilidad", la tabla periódica podría enriquecerse con los elementos más pesados hasta ahora conocidos.

Véase **Acelerador de partículas; Acelerador lineal; Química; Transuránicos, elementos**

En el gráfico de la página anterior se indica la abundancia de los elementos químicos en la corteza terrestre: se ha confirmado el hecho de que aquéllos con número atómico par son más abundantes que los de número atómico impar.




El diagrama tridimensional muestra los puntos o picos de mayor estabilidad nuclear. Se indican los números de protones y de neutrones que dan lugar a una estabilidad particularmente elevada.

# Embarazo

En condiciones normales, el útero de la mujer, una cavidad en forma de tronco de cono situada en el interior de la pelvis, mide unos 7 centímetros de largo y pesa aproximadamente 30 gramos. Al final del embarazo, por el contrario, este órgano, que ha protegido y nutrido al feto en el transcurso de 9 meses, ha crecido hasta alcanzar cerca de 30 centímetros de longitud y unos 1.200 gramos de peso. Junto con esta notable transformación, en el organismo materno tienen lugar otros cambios importantes que permiten el desarrollo del feto, su nutrición, y por último su expulsión.

**Primer trimestre (de la 1.ª a la 12.ª semanas)** La fecundación, es decir, la unión del óvulo y del espermatozoide, tiene lugar en una de las trompas uterinas. El óvulo fecundado, que recibe el nombre de *zigoto*, permanece en la trompa durante unas 72 horas, al cabo de las cuales pasa a la cavidad uterina. En este órgano el zigoto, que previamente ha sido nutrido por la mucosa que reviste interiormente la trompa, está constituido ya por más de 60 células. A medida que las células se van multiplicando, el zigoto forma un *blastocisto*, esto es, un revestimiento parecido a una pelota con una cavidad interior rellena de líquido. Durante un breve período de tiempo tras la llegada a la cavidad uterina, el blastocisto se nutre gracias al revestimiento interno del útero, el endometrio, sin necesidad de estar aún unido a la pared de este órgano. Aproximadamente cinco días después de la fecundación, el blastocisto experimenta una transformación importante: la cavidad interior se oblitera por la proliferación de células; poco a poco las células se organizan en distintas capas, cada una de las cuales dará origen a órganos diversos. Desde este momento el embrión comienza a crecer en el interior del endometrio. Pasados algunos días una nueva cavidad, denominada *cavidad amniótica*, se forma alrededor del embrión. La cavidad amniótica contiene el líquido amniótico, en el cual se desarrollará el feto protegido de golpes externos y en un ambiente húmedo. Durante este mismo período (de la segunda a la tercera semanas) comienzan a formarse también el cordón umbilical y la placenta. Esta es una estructura que pone en estrecha relación el embrión con la madre; deriva de la penetración de un anexo del embrión en el endometrio, que se divide parcialmente. Las formaciones ricas en vasos sanguíneos, similares a dedos, del anexo embrionario se encuentran bañadas por la sangre materna, de la cual pueden tomar tanto el oxígeno como las sustancias nutritivas que son necesarias para el desarrollo embrionario. El útero no ha modificado todavía su forma y dimensiones, pero en estas doce primeras semanas se hace cada vez más blando, más adaptable y más amplio.

Al comenzar el embarazo, la producción de estrógenos y progesterona aumenta de manera notable. Las primeras señales exteriores de estos cambios hormonales las constituyen la tumefacción mamaria y a veces una pigmentación más oscura de las aureolas (el tejido que rodea los pezones). A causa del mayor flujo sanguíneo a los senos y del desarrollo de las glándulas mamarias, las venas de los senos se hacen más evidentes y la mujer puede percibir pulsaciones u hormigueos en los senos. Las náuseas y los desvanecimientos son síntomas típicos del embarazo y generalmente se inician hacia la quinta semana. Por otra parte, y como consecuencia de una mayor producción hormonal, se puede producir un aumento de las secreciones vaginales y movimientos irregulares del intestino (provocados en parte por la progesterona, que relaja los músculos lisos, o involuntarios, de la pared intestinal).

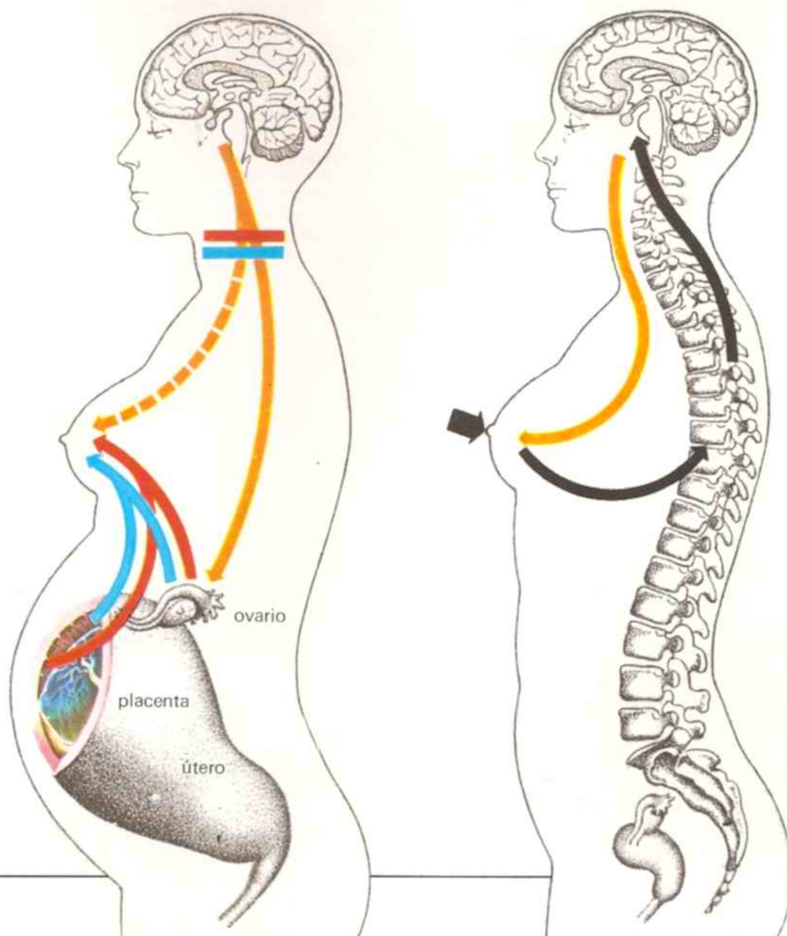
Durante el primer trimestre, las transformaciones que tienen lugar en el cuerpo de la mujer no son muy evidentes (si bien no por ello dejan de tener su importancia), dado que tienen sobre todo la finalidad de proporcionar una protección al feto (la cavidad amniótica situada en el interior del útero) y un sistema de nutrición del mismo (la placenta con su espesa red de vasos).

**Segundo trimestre (de la 13.ª a la 26.ª semanas)** Durante el segundo trimestre el útero aumenta de tamaño, creciendo hacia la cavidad abdominal. Hacia la vigésima semana su peso ha aumentado unas veinte veces. El feto se desarrolla ahora con notable rapidez y en el cuarto mes se verifica en la mayor parte de las mujeres un significativo aumento del peso. Aunque el feto se movía ya hacía varios meses, sus movimientos no pueden ser percibidos hasta la 18.ª semana.

El volumen de sangre aumenta rápidamente durante el segundo trimestre del embarazo: en el momento del parto el volumen sanguíneo materno estará incrementado en un 25%. La espesa red de vasos sanguíneos del útero y de la placenta tiene como función proporcionar oxígeno y sustancias nutritivas al feto y eliminar las sustancias de desecho. El aumento del volumen sanguíneo sirve también como mecanismo de seguridad en el caso de posibles hemorragias durante el parto.

La hipófisis en este momento ha comenzado a segregar prolactina, la hormona que estimula la producción de leche. Es un fenómeno bastante común el que a partir de la 19.ª semana se produzca un goteo por los pezones de un líquido amari-

La gestación representa un momento delicado y extremadamente complejo para el organismo materno. El comienzo del embarazo tiene lugar con la fecundación de la célula huevo femenina por parte del espermatozoide o elemento masculino. Al mismo tiempo comienza el descenso de la célula fecundada hacia el útero, previamente transformado por la acción de las hormonas femeninas, principalmente los estrógenos y la progesterona. En el esquema situado en la parte inferior de estas líneas se observa cómo los estrógenos (flechas azules) y la progesterona (flechas rojas), producidos por el ovario y por la placenta, actúan sobre el desarrollo de la mama e impiden a la prolactina segregada por la hipófisis (flechas naranjas) la estimulación de la producción de leche.



actúa también sobre el crecimiento, sobre el tiroides y sobre las suprarrenales

hipófisis

lóbulo anterior

lóbulo posterior

estimulación de la secreción de leche después del parto

acción inhibidora por parte de los estrógenos

acción sobre el folículo

acción sobre el folículo

estrógenos y progesterona

placenta

pocos estrógenos durante el embarazo

ovario

progesterona

trompa

acción sobre la presión arterial

estimulación de la musculatura uterina

retención de agua

vasos

intestino

útero

riñón

orina

estrógenos que favorecen el crecimiento uterino

hormona estimulante del folículo

hormona estimulante del cuerpo amarillo

progesterona, que inhibe el útero y favorece la secreción láctea

Solamente después del parto la prolactina puede actuar sobre la mama sin la interferencia de los estrógenos. La producción de la prolactina es estimulada por el propio recién nacido mediante la succión del pezón. Durante el embarazo, todas las glándulas endocrinas → (esquema de la izquierda) del organismo de la madre toman parte más o menos activamente en la creación de un nuevo equilibrio hormonal que actúa durante este período. ↓ Están particularmente involucradas la hipófisis, la glándula tiroides y las glándulas suprarrenales. Las modificaciones más importantes se observan, sin embargo, a nivel de las hormonas sexuales y son fácilmente evidenciables recurriendo a su determinación en la orina.

llento, denominado *calostro*, sustancia segregada previamente a la leche, que, por el contrario, solamente se produce después del parto. Si la madre tiene la intención de amamantar al niño, es éste el momento justo para comenzar la preparación de los pezones con un masaje adecuado. Durante este período se verifica un aumento ulterior de las dimensiones de los senos.

La producción de hormonas es más alta durante el segundo que durante el primer trimestre. Además de la ya mencionada pigmentación oscura de los pezones, se puede presentar también una pigmentación oscura en la cara (que desaparece después del parto) y una línea oscura que se extiende desde el ombligo a los genitales, que por lo general no desaparece después del parto.

A medida que el útero aumenta de tamaño comprime el estómago y el intestino, desplazando estos órganos hacia arriba y hacia la derecha (para evitar oprimir demasiado el intestino, que a la izquierda presenta un mayor desarrollo). Con frecuencia esto origina algunos trastornos digestivos, por lo que es aconsejable tomar comidas ligeras y frecuentes.

Las transformaciones que ocurren en el segundo trimestre son mucho más acentuadas que las que tuvieron lugar en el primer trimestre. Una alimentación sana y equilibrada, reposo y ejercicio físico son extremadamente importantes para la salud y el bienestar del feto y de la madre.

**El tercer trimestre (de la 27.ª a la 38.ª semanas)** Desde la semana 27.ª el útero se vuelve más rígido; los movimientos del feto pueden percibirse claramente y con frecuencia llegan a ser visibles. Durante este período el feto efectúa muchos movimientos, puede tener lugar incluso algún sollozo; a veces, por el contrario, duerme, y su sueño puede durar hasta tres días.

Puede suceder que se verifiquen contracciones involuntarias mucho antes de la fecha del parto. Estas contracciones, denominadas *falsos dolores*, constituyen probablemente una especie de ejercicio de los músculos pélvicos que participarán en el parto. Dado que ahora su tamaño es muy grande, el útero ejerce una notable presión sobre el diafragma, haciendo a veces difícil la respiración. Esto no se verifica en todas las mujeres, ya que generalmente, a la vez que el agrandamiento del útero, se produce un ensanchamiento de la caja torácica; una mujer gestante, en efecto, inspira una mayor cantidad de aire que una mujer no gestante.

Durante el embarazo se retienen aproximadamente unos 4 litros de líquidos.

Entre 2 y 4 semanas antes del parto, la cabeza del feto se desplaza rápidamente hacia la parte inferior de la pelvis. En muchas mujeres esto origina una disminución de la presión sobre el diafragma y una menor dificultad para llevar y sostener al niño. Esta nueva posición, junto con la mayor actividad del niño, hace que las últimas semanas de la gestación sean no solamente emocionantes, sino también físicamente mucho más confortables.

Véase **Embrión y Embriología; Endocrino, sistema; Glándulas mamarias**

**EXAMENES QUE DEBEN PRACTICARSE EN EL CURSO DEL EMBARAZO**

Iniciales:

1) grupo sanguíneo y factor Rh
2) reacción de Wassermann
3) glucemia y axoemia
4) examen sanguíneo completo
5) examen completo de orina
6) control del peso
7) proteinemia

Al comienzo de cada mes:

1) examen sanguíneo completo

Hasta el séptimo mes:

(cada 15 días)

1) control de la cantidad de orina en las 24 horas
2) examen completo de orina
3) control del peso
4) control de la presión arterial

Al comienzo del séptimo mes:

Electrocardiograma - proteinemia

Del séptimo mes en adelante:

(cada 7 días)

1) control de la cantidad de orina en las 24 horas
2) examen completo de orina
3) control del peso
4) control de la presión arterial

Al comienzo del noveno mes:

1) recuento de plaquetas
2) tiempo de protrombina
3) pruebas hemorrágicas
4) fibrinógeno
5) proteinemia

# Embarcaciones deportivas

Una barca es un pequeño, o relativamente pequeño, medio de transporte idóneo para moverse en el agua. También el barco cumple esta misión, pero, al ser la barca de menores dimensiones, es evidentemente mucho más sencilla, tanto en su estructura como en sus instalaciones y manejo.

Existen cuatro principales categorías de embarcaciones menores: las canoas (movidas mediante remo), las embarcaciones de remos, de vela y de motor. Dentro de cada categoría existen muchas subdivisiones según su uso, como las embarcaciones de recreo, de competición, de transpórte.

**Las primeras embarcaciones** Una de las primeras embarcaciones utilizadas por el hombre fue la canoa, hecha de un tronco y que aún usan algunas tribus primitivas. Se han encontrado restos de canoas en excavaciones datadas en la Edad de Piedra. Las canoas modernas se construyen con materiales más resistentes y ligeros (como aleaciones de aluminio y fibra de vidrio), se propulsan con un solo remo y son muy utilizadas para la práctica de deportes y en competiciones. La canoa *kayak*, que da nombre a ese deporte, deriva de un tipo de canoa empleado por los esquimales y se caracteriza por su peso ligero y su manejabilidad.

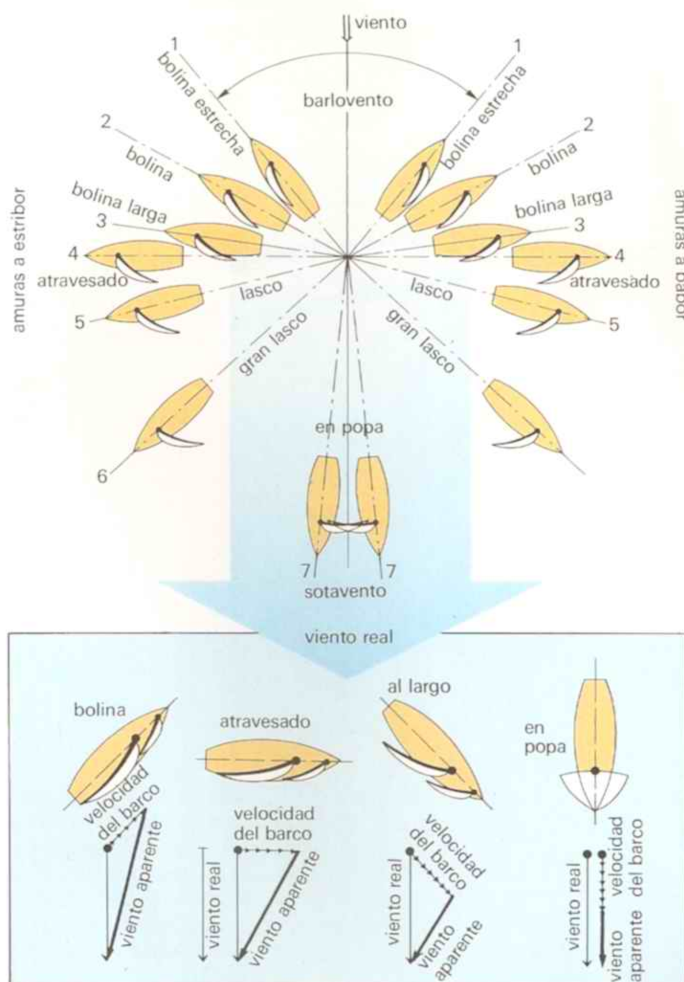
Después de la canoa, el paso siguiente fue la barca de remos, en cuyos bordes laterales se colocan unas cabillas que sirven para sujetar los remos al borde de la embarcación. Se multiplica así la fuerza de los remeros mediante el clásico sistema de palanca. Las barcas de remos se utilizan hoy en día tanto en la pesca como en el deporte. Una barca de remos de competición para un solo tripulante mide 5 metros. Una versión para 8 remeros tiene 18 metros de largo. La natural evolución de las primitivas barcas de remos condujo a la construcción de las galeras, que seguramente fueron los auténticos primeros barcos y que estaban dotadas de series paralelas de remos, cada uno de los cuales era manejado por 2 ó más hombres. Una galera grande podía contar con más de 200 remeros. Todas las civilizaciones antiguas, como la persa, asiria y egipcia, utilizaron galeras para la guerra y el comercio.

Las primeras embarcaciones a vela fueron construidas por los egipcios; las velas estaban tejidas con fibras de papiro y sostenidas por un solo mástil, que les permitía navegar con facilidad cuando tenían viento de popa. Los fenicios mejoraron el modelo egipcio, construyendo pequeños veleros con los cuales surcaron todo el Mediterráneo.

**Embarcaciones de recreo** El primer yate, una embarcación utilizada principalmente para el recreo o el deporte, apareció en Holanda en el siglo XVI. Los holandeses, un pueblo de tradición marinera, construyeron un barco ligero y veloz de un solo mástil, apto para perseguir a los barcos piratas, que fue llamado *Jachtschiff* (de la palabra holandesa *Jagen*, que significa "cazar"). Uno de estos yates, el *Mary*, fue donado al soberano inglés Carlos II y así nació el nuevo concepto de la navegación de recreo.

De todas formas, transcurrió mucho tiempo hasta que el deporte de la vela fuera practicado a gran escala, pues en un principio estaba reservado exclusivamente a los nobles o a familias reales europeas, ya que era un deporte extremadamente costoso. En el año 1720 fue fundado en Irlanda el Water Club de Cork, llamado hoy en día Royal Cork Yacht Club y que probablemente fue el primer club de vela del mundo. Tan sólo después de un siglo se constituyó el Royal Squadron a Cowes, en la isla de Wight, que fue el primer paso hacia la actual popularidad del deporte de la vela.

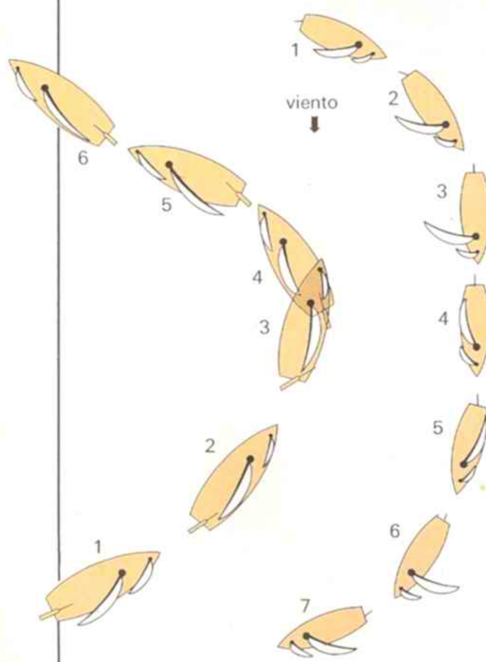
El primer yate estadounidense, el *Fancy*, fue construido en Nueva York en el año 1717, pero hasta 1844 no se impulsó el deporte de la vela en los Estados Unidos con la fundación del New York Yacht Club. Siete años después el famoso yate *América*, una goleta de 100 pies (30 metros y medio de longitud total), alcanzó gran popularidad con una sola competición. El *América*, después de cruzar el At-




A la izquierda, en el esquema superior, vemos un barco de vela en varias derrotas con respecto al viento que sopla desde arriba según indica la flecha. Las distintas derrotas son: "amuras a estribor", con viento que sopla del lado derecho del barco, y "amuras a babor", con viento que sopla del lado izquierdo del barco.

En el esquema inferior vemos los diagramas del viento aparente y real según las distintas derrotas. En todos los diagramas el viento sopla desde arriba y está representado por una flecha vertical de igual longitud. La línea compuesta por flechitas alineadas, que también suponemos igual en todas las posiciones, representa la velocidad del barco. El vector más oscuro representa el llamado "viento aparente", es decir, el que se podría medir en la cubierta del barco mediante un anemómetro. Como se puede ver en este diagrama, es máximo para las derrotas de bolina y mínimo para las de popa.

Abajo, a la izquierda, vemos la maniobra de viraje realizada con viento de proa: mientras corre veloz, el barco se pone de proa al viento y sigue virando mientras se orienta la vela de forma que el viento que procede de estribor cambia a babor (entre las posiciones 3 y 4). A la derecha vemos el viraje con viento de popa con cambio de orientación de la vela (entre las posiciones 4 y 5).





En esta página vemos una embarcación propulsada en un 60% por velas y en un 40% por motor. Con esta distribución no sólo se asegura el medio de propulsión del barco, sino también su facilidad de maniobra y su flotabilidad.

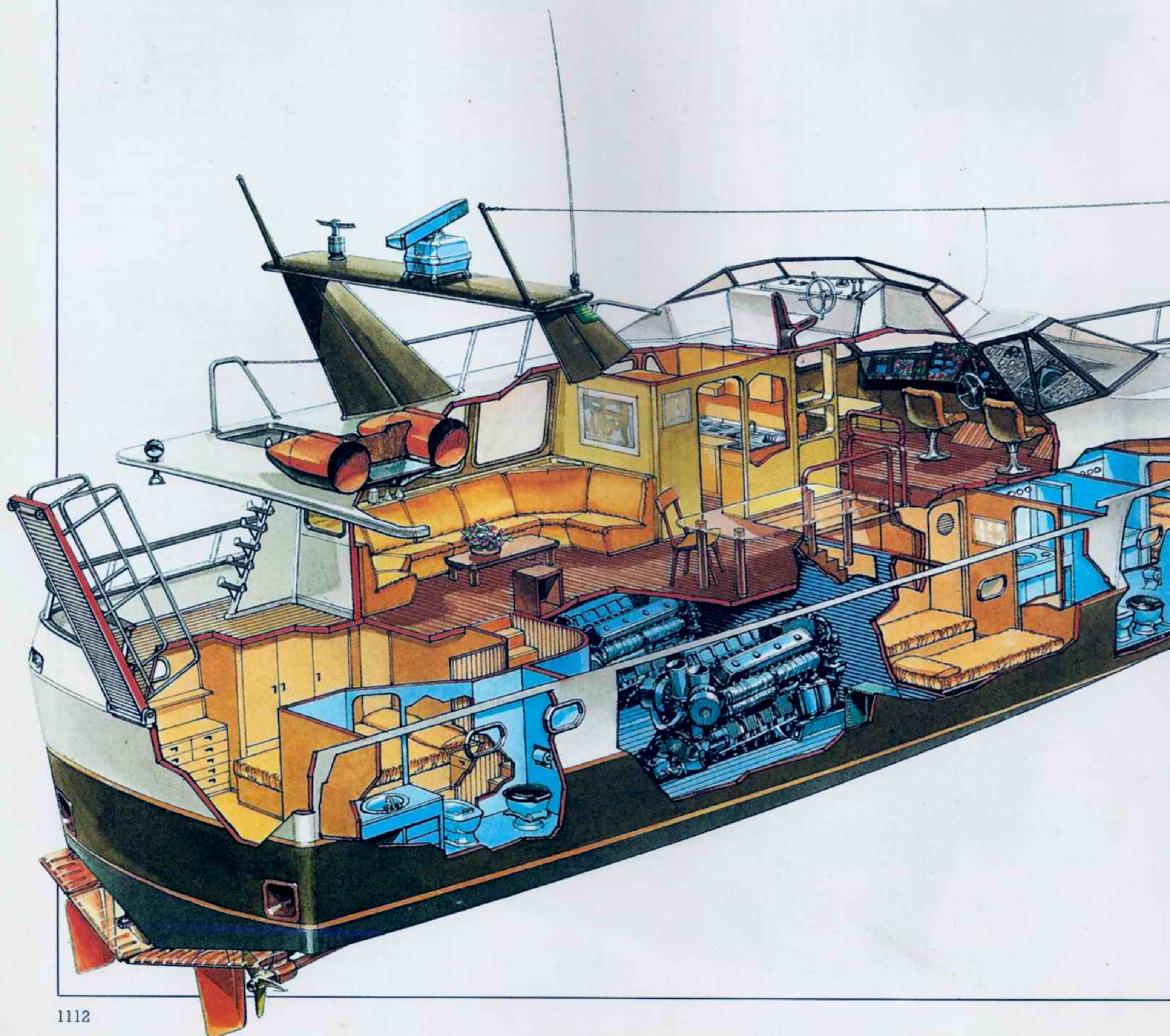
lántico, desafió y ganó a toda la flota de embarcaciones inglesas en una competición alrededor de la isla de Wight.

**Cómo funcionan los barcos de vela** Dos son los elementos básicos para el movimiento de un barco de vela: en primer lugar la presión del viento sobre las velas, y, en segundo, la fuerza aerodinámica ejercida sobre el mástil. Las velas de una moderna embarcación de recreo forman una superficie portante vertical que la empuja hacia delante de la misma forma que las alas de un avión en vuelo lo empujan hacia arriba. El aire corre sobre las superficies curvas de las velas, mantenidas tensas por el viento, y provoca un vacío en el lado convexo que produce el movimiento del barco hacia delante. Por esta razón en las embarcaciones modernas se emplean mástiles muy altos y estrechas velas triangulares, que contrastan con la gran cantidad de velamen utilizado cuando se creía que la velocidad era proporcional solamente al empuje del viento sobre las velas.

Actualmente la vela es un apasionante deporte, complejo y preciso, difundido por todo el mundo. Complicados reglamentos de puntuación tienden a equiparar distintos tipos de barcos dentro de la misma clase, de forma que la habilidad de los tripulantes sea tan importante para la victoria como la calidad del propio barco. En todas las competiciones de recorrido obligado rige el reglamento internacional. Entre las competiciones oceánicas más famosas están la de Fastnet en Inglaterra, la de las Bermudas, la Transpacífica y también la Vuelta alrededor del mundo.

Los barcos más pequeños participan igualmente en importantes competiciones. Los que pertenecen a la misma clase internacional están construidos según un mismo diseño y con las mismas normas.

Existen además barcos de concepción especial que pertenecen a clases específicas. Entre éstas se encuentra el catamarán de dos cascos, una transformación de la antigua canoa utilizada en los mares del Sur, muy estable y excepcionalmente ve-



loz; existen también soluciones con tres cascos alineados. Los barcos de más cascos se vienen utilizando desde hace 2.500 años; dotados de gran estabilidad, casi imposibles de volcar, estos tipos de barcos pueden navegar con vientos muy fuertes y pueden alcanzar velocidades elevadas. Otro barco muy veloz es el de casco plano, utilizado sobre todo en aguas interiores; es ancho, de fondo plano, con la proa en forma de cuña y muy estable.

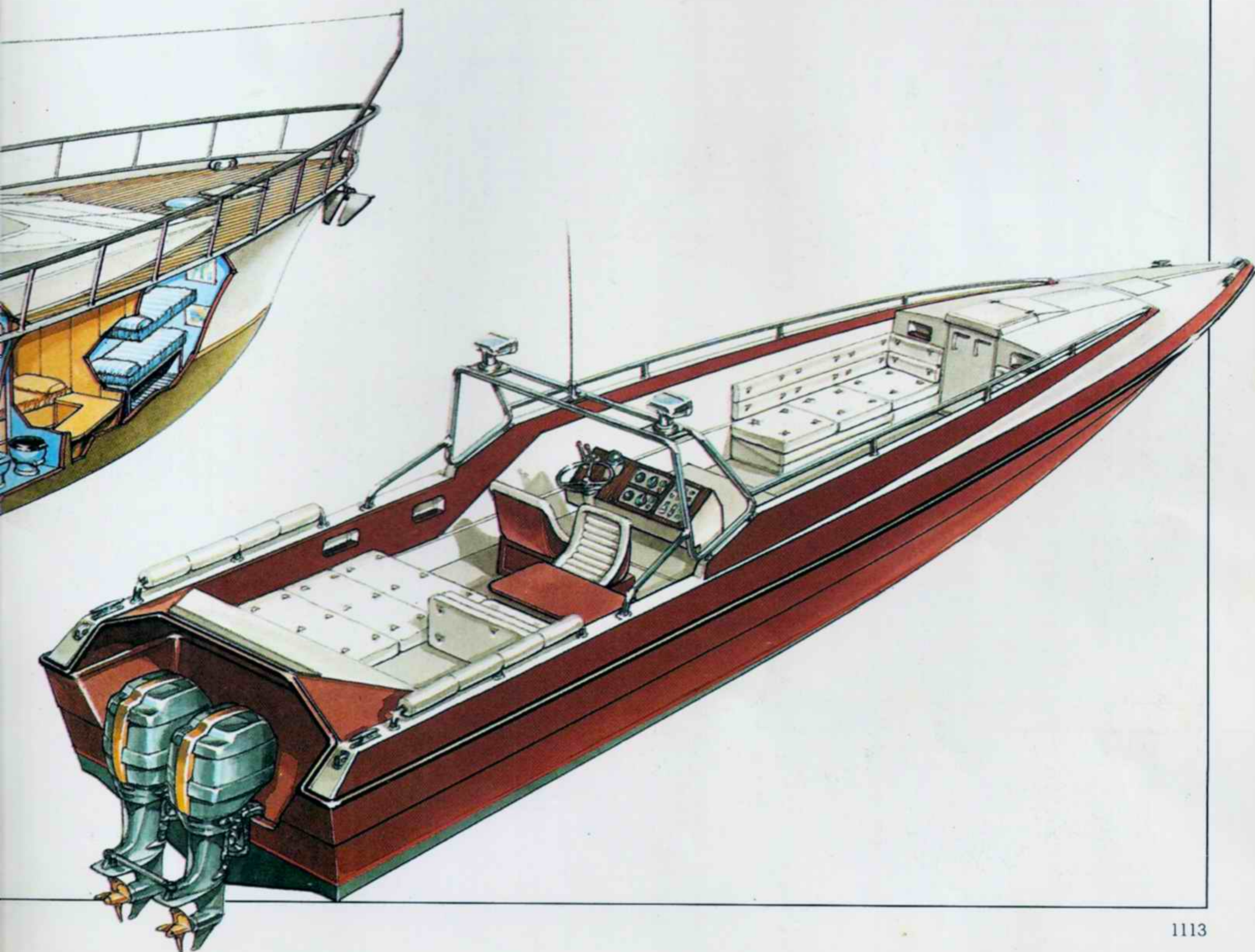
**Embarcaciones de motor** El deporte de las embarcaciones de motor comenzó a principios de este siglo, cuando fue posible transformar los motores de los automóviles para estas aplicaciones. Desde entonces la velocidad de este tipo de embarcaciones ha aumentado de los 31,42 km/h (16,9 nudos), establecida en el primer trofeo de Harmworth, en Irlanda, en 1903, a los 458,9 km/h (247,7 nudos) alcanzados actualmente por las embarcaciones con motor a reacción. Las competiciones de velocidad se dividen en cuatro categorías principales: embarcación con motor en el casco (*in-board*), fuerabordas (*out-board*), hidroplanos con motor en el casco e hidroplanos fueraborda. Los hidroplanos son embarcaciones pequeñas provistas de motores muy potentes, lo que les hace deslizarse por la superficie del agua. A medida que su velocidad lineal aumenta, la proa se levanta, y la embarcación puede llegar a planear gracias a las aletas situadas en las amuras.

Cada categoría está dividida en distintas clases según la potencia de su motor. La asociación que regula las competiciones internacionales es la International Motorboating Union, a la cual pertenecen más de 40 naciones.

Un tipo original de embarcación lo constituyen las casas flotantes, dotadas de un casco ancho y cubierto; ofrecen el máximo confort, pero son poco aptas para la navegación. Han sido diseñadas para permanecer atracadas en ciertos puertos o moverse por aguas interiores.

Véase **Motor Diesel; Motor fueraborda**

Las motoras son embarcaciones impulsadas en un 100% por el empuje de las hélices movidas por uno o más motores. En estas páginas vemos dos embarcaciones de motor; la de la página anterior, de mayores dimensiones y más lenta, está dividida en compartimentos interiores y es apta para cruceros de altura. Bajo estas líneas, una velocísima embarcación de profundo carenado en V, apta para alcanzar gran velocidad incluso con mar movido: llega a los 60 nudos por hora, es decir, 60 millas marinas (alrededor de 111 km/h), que para el mar está considerada como una velocidad elevadísima, que hace innecesaria la comodidad imprescindible en las largas travesías. Los dos cascos son hidroplanos, es decir, que a gran velocidad parte de ellos sobresale del agua. Sin embargo, en los barcos de vela la quilla está sumergida en el agua, incluso en los momentos de mayor empuje del viento, siendo por esto menos veloces.



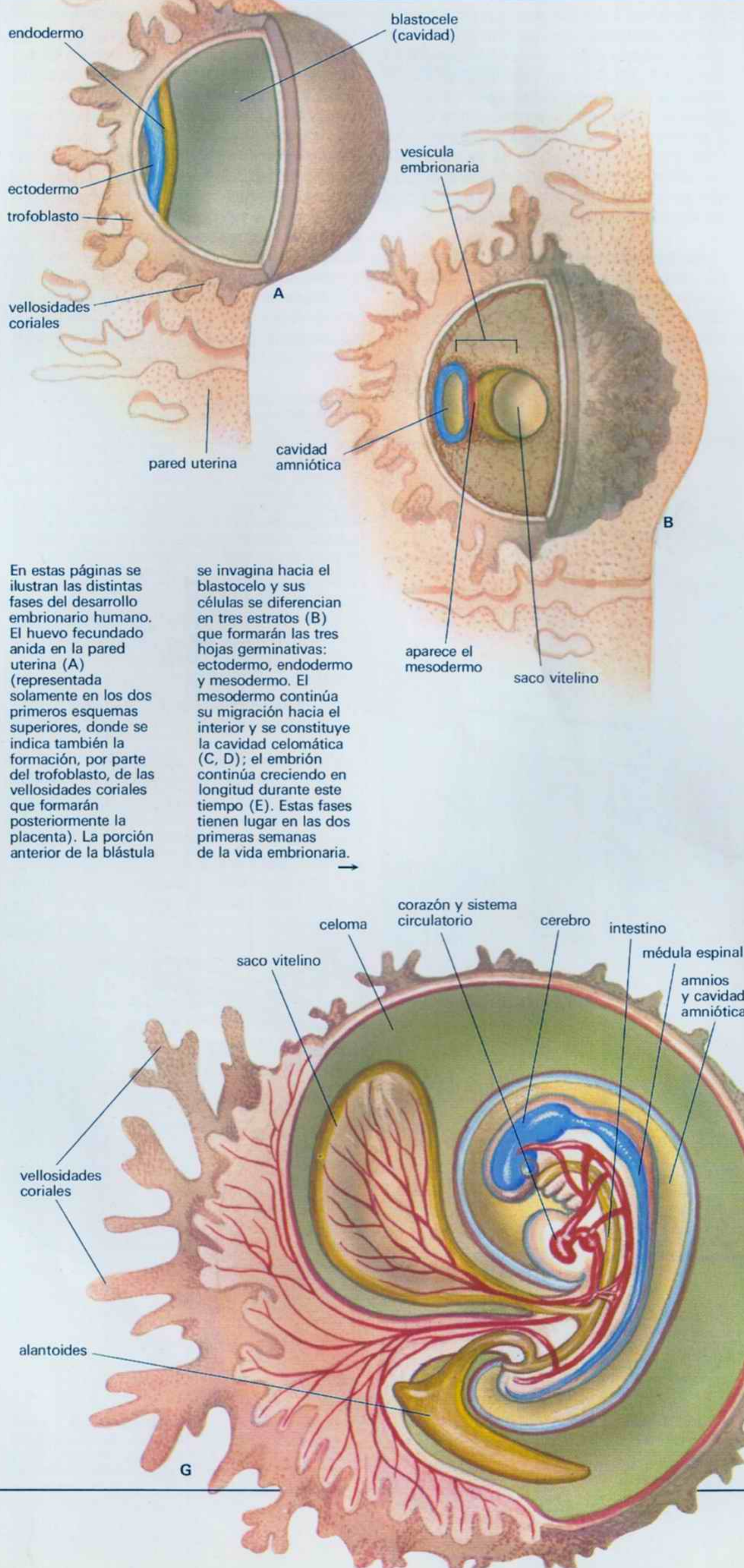
# Embrión y embriología

En la mayor parte de las plantas y de los animales y en todos los seres humanos, la vida se inicia en una sola célula de un tamaño más pequeño que la sección de un cabello. En el caso del hombre, esta célula inicial se forma cuando la célula sexual del padre (el espermatozoide) se une a la célula sexual de la madre (el óvulo). Todas las células que constituyen un organismo, y que en un ser humano llegan a cerca de 60 mil millones, derivan de las sucesivas divisiones y subdivisiones de esta primera célula, la cual puede considerarse "programada" según unas "instrucciones" contenidas en ella misma. Desde el instante en que el óvulo y el espermatozoide se fusionan (fenómeno llamado *fecundación*) hasta el momento en que el nuevo organismo forma su estructura de base, ya se trate de un ave, de un mamífero o de un ser humano, el diminuto cuerpo surgido del óvulo fecundado se denomina *embrión*. En el caso de la especie humana, el término *embrión* se utiliza desde la concepción hasta aproximadamente el final del tercer mes.

**Iguales y sin embargo diferentes** En la actualidad el desarrollo de la investigación científica ha logrado explicar los dos aspectos fundamentales del desarrollo embrionario. El primero de ellos consiste en el hecho de que cada nueva célula contiene todas las informaciones contenidas en la célula original. Una célula muscular, por ejemplo, no solamente "conoce" los mecanismos del movimiento, sino también todo lo relacionado con la digestión, la respiración, la actividad cerebral, etc., es decir, todas las demás actividades del organismo. En un plano teórico, a partir de cualquier célula del organismo, y a través de divisiones y subdivisiones, sería posible originar un nuevo organismo idéntico al de partida.

El segundo aspecto extraordinario del sistema de crecimiento mediante la división celular está constituido por el hecho de que, a pesar de que todas las células contienen la misma información, un proceso denominado *diferenciación* es responsable de que cada célula asuma características distintas, y así algunas se transforman en células musculares, otras en células óseas y otras se desarrollan como células nerviosas y se reúnen para formar tejidos y órganos. El mecanismo que hace ponerse en marcha el proceso de la subdivisión del huevo fecundado presenta, aún hoy día, muchos aspectos oscuros.

El núcleo es el elemento de la célula que contiene todas las informaciones. En efecto, en el núcleo se encuentran "paquetes" de informaciones en forma de cromosomas, complejas asociaciones moleculares depositarias de los programas que definen la estructura y la función de todas las partes del organismo. Las células de los seres humanos contienen 46 cromosomas, organizados en 23 pares de formas y dimensiones diversas. Los cromosomas están constituidos por ADN, una sustancia química formada por una molécula com-



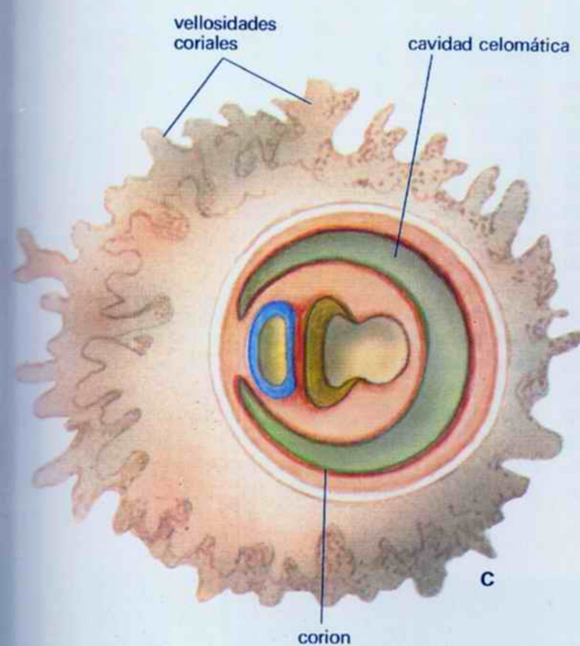

En estas páginas se ilustran las distintas fases del desarrollo embrionario humano. El huevo fecundado anida en la pared uterina (A) (representada solamente en los dos primeros esquemas superiores, donde se indica también la formación, por parte del trofoblasto, de las vellosidades coriales que formarán posteriormente la placenta). La porción anterior de la blástula se invagina hacia el blastocelo y sus células se diferencian en tres estratos (B) que formarán las tres hojas germinativas: ectodermo, endodermo y mesodermo. El mesodermo continúa su migración hacia el interior y se constituye la cavidad celomática (C, D); el embrión continúa creciendo en longitud durante este tiempo (E). Estas fases tienen lugar en las dos primeras semanas de la vida embrionaria. →

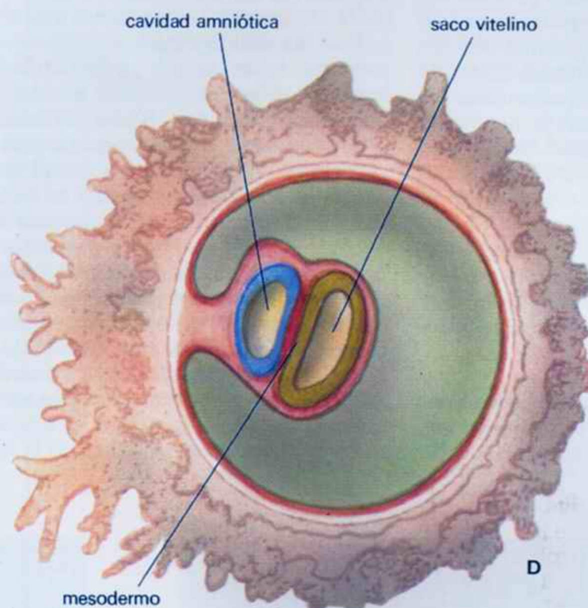


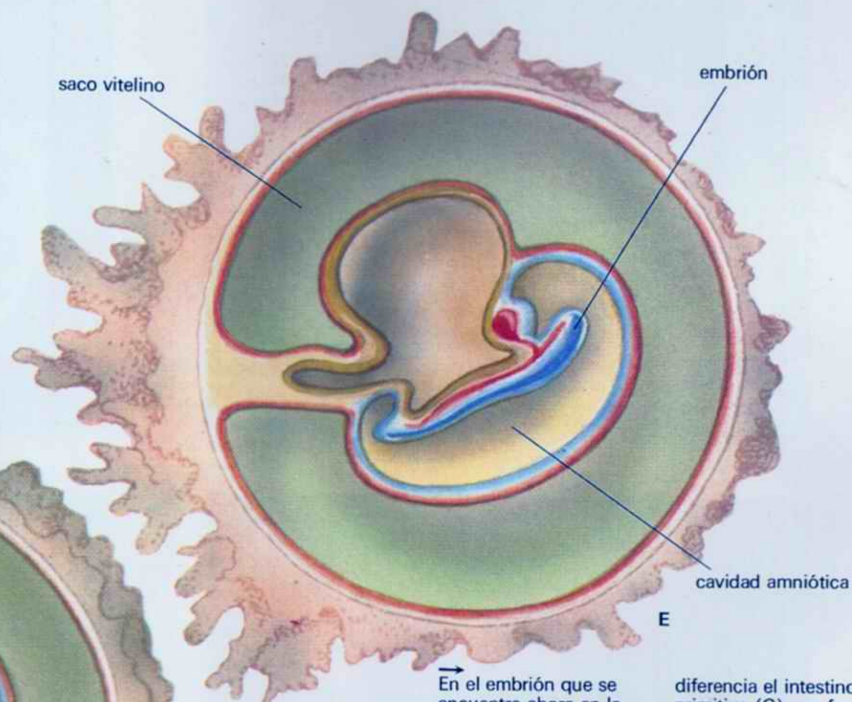


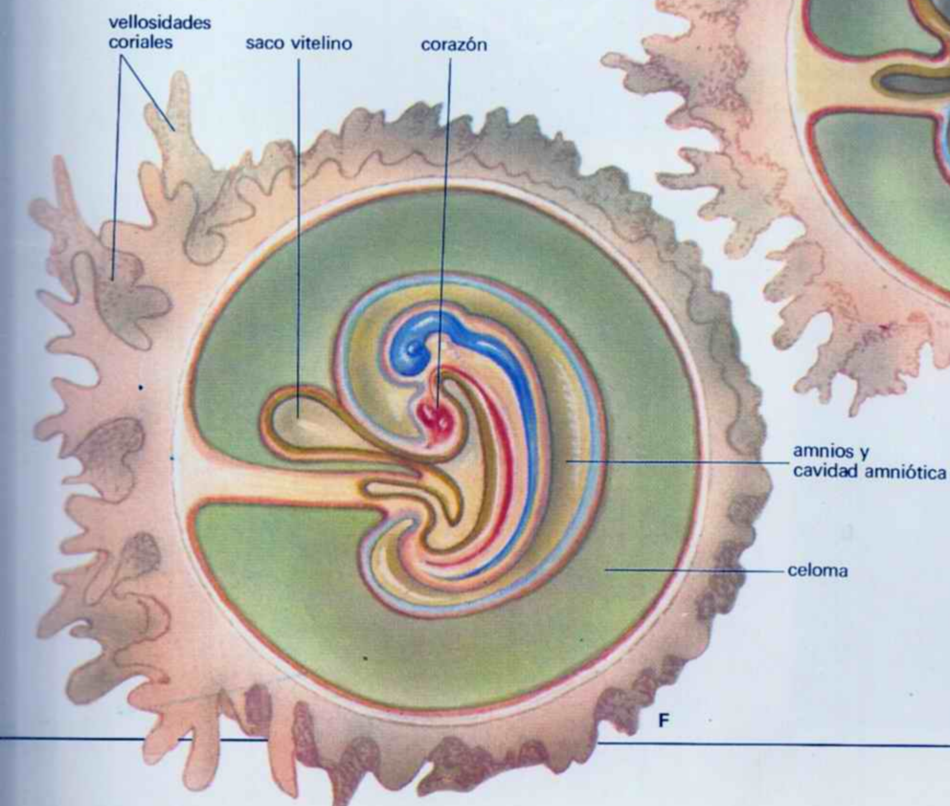





→ En el embrión que se encuentra ahora en la tercera semana del desarrollo (F) comienza a distinguirse la cabeza redondeada, en un extremo, y una formación alargada, casi una cola, en la extremidad opuesta, mientras que el pedúnculo que une el embrión al corion se alarga y llegará a formar el cordón umbilical. Posteriormente, se diferencia el intestino primitivo (G) y se forma la alantoides (evaginación ventral del tracto terminal del intestino) que, extendiéndose, alcanzará el trofobIásto y participará en la formación de la placenta. En esta fase ya se pueden individualizar con cierta claridad los distintos órganos que derivan de las tres hojas embrionarias.

pleja que presenta una forma en espiral similar a la de una escalera de caracol. Los "peldaños" y las "barandillas" de esta "escalera" están constituidos por compuestos químicos unidos entre sí formando distintas secuencias. Las "rampas" de esta "escalera" se denominan *genes*.

Así como los cromosomas pueden ser comparados con los programas de una computadora, los genes pueden ser parangonados a las informaciones más simples que constituyen estos programas. Las dimensiones infinitesimales de los genes, por un lado, y la complejidad del sistema, por otro, hacen que la investigación científica se encuentre todavía muy lejos de llegar a discernir qué combinaciones genéticas determinan una característica específica. El estudio de los genes —Genética— forma parte de la Embriología, ciencia que estudia el desarrollo y la formación del embrión.

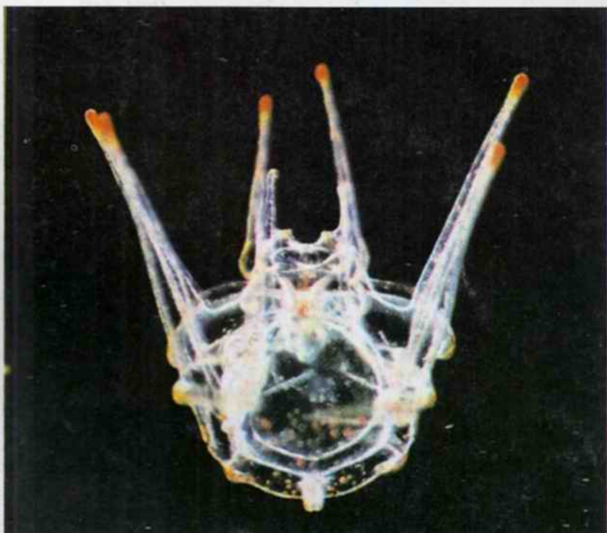
**Cómo se desarrollan los embriones**

Conviene indicar que aquí se tratará exclusivamente del desarrollo embrionario en el ser humano. El extraordinario proceso del crecimiento que culmina con la formación de un nuevo organismo comienza en el momento de la concepción. En la especie humana, durante la relación sexual el varón libera millones de espermatozoides que se mueven rápidamente a través de las vías genitales de la mujer hasta alcanzar la célula huevo situada en una de las trompas que unen el ovario (el pequeño órgano donde se forman los óvulos) con el útero (el órgano en el que se desarrollará, hasta su término, el embrión). Solamente uno de los espermatozoides penetra en la célula huevo: los 23 cromosomas de la célula masculina se fusionan con los 23 cromosomas presentes en el óvulo, y de este modo el núcleo de la nueva célula embrionaria contendrá una serie completa de 46 cromosomas. A las cuarenta y ocho horas de la fecundación, la nueva célula comienza su proceso de subdivisión. Al cuarto día se ha formado ya un grupo de 12 células que desciende a lo largo de la trompa y que va a insertarse en el útero. A los seis días de la fecundación se han formado varios centenares de células y ha dado comienzo el proceso de la diferenciación. Algunas células se adhieren a la pared uterina, la cual desempeñará una doble función de nutrición del embrión y excretora. El embrión toma entonces la forma de una esfera hueca sobre cuya superficie las células se organizan en tres estratos distintos. El estrato más externo dará origen a la piel, pelos, uñas y sistema nervioso; a partir del estrato intermedio se formarán los huesos, músculos, la sangre y el aparato reproductor; el estrato interno formará el tubo digestivo, hígado, páncreas y pulmones.

Hacia el final de la tercera semana comienza a formarse el sistema nervioso. Alrededor de la quinta semana, el embrión, si bien tiene todavía unas dimensiones muy pequeñas —no pasa de un centímetro—, comienza a esbozar los brazos, piernas, dedos y ojos. En la octava semana, cuando el embrión mide solamente unos 2,54 centímetros de longitud, se han formado ya la mayor parte de los órganos internos, la cara, las orejas, la nariz, la boca









Fotos: D. P. Wilson

y los dedos, y están comenzando a formarse los órganos sexuales. En este momento el nuevo ser se denomina *feto*.

**Por qué se desarrollan los embriones** El embrión se desarrolla obedeciendo a las informaciones codificadas en los genes del huevo fecundado. No se conoce todavía por qué algunas células se desarrollan como tejido cerebral, por ejemplo, y otras, con un idéntico código genético, se transforman en tejido muscular.

Han sido formuladas varias teorías para explicar el proceso de diferenciación. Una de estas teorías afirma que la diferenciación se basa en el hecho de que las células parecen comunicarse entre sí, y decirse dónde están y qué están haciendo. Algunos investigadores han injertado células abdominales tomadas de un sapo en la cabeza de un embrión de tritón. Las células, fieles a su código genético, formaban partes propias de sapo. En respuesta a la nueva posición en que se encontraban, las células mencionadas no formaron un abdomen, sino ventosas, es decir, el órgano que se habría desarrollado en la región cefálica de un renacuajo de sapo.

Pero existe aún otra cuestión: ¿por qué las células comienzan a subdividirse y finalizan su división exactamente en el momento justo? Por ejemplo, ¿por qué en un cierto momento dejan de formarse las células de la muñeca y comienzan a formarse las de la mano? Se afirma que el tiempo necesario para cada período de crecimiento está determinado ya en el interior del huevo e incluso que una célula puede liberar "mensajes químicos" que, de alguna forma, podrían dirigir las actividades de otras células.

Cuando sea posible la comprensión de los procesos de diferenciación, se podrá responder a otras cuestiones relativas al desarrollo celular: ¿por qué, por ejemplo, en algunos individuos, ciertas células exageran su crecimiento y provocan tumores?, o bien, ¿por qué, en otros casos, el sistema de desarrollo del embrión sufre algunas alteraciones que conducen al nacimiento de niños con malformaciones? Las respuestas a estas preguntas permitirán tal vez reprogramar "computadores" genéticos para asegurar el nacimiento de individuos perfectamente sanos.

Véase **Fecundación e inseminación artificial; Huevo**

En la secuencia fotográfica de estas páginas se ilustra el desarrollo embrionario y la metamorfosis del erizo de mar *(Echimus esculentus)*. El huevo, después de ser fecundado, experimenta una serie de divisiones hasta alcanzar el estado embrionario (blástula) (A). A las 48 horas de la fecundación da comienzo el proceso de la gastrulación (B) y el embrión pasa al estado de gástrula, del cual, hacia el tercer día de la fecundación, se desarrolla una larva.

La larva en la clase de los equinoides recibe el nombre de *pluteus* (C). Han transcurrido solamente cinco días desde el comienzo de la segmentación del huevo y el *pluteus* presenta el cuerpo cónico y comprimido, el estómago sacciforme, la boca situada en la región dorsal y el ano en la ventral. Después de una compleja metamorfosis y a través de estados sucesivos (D, E, F, G) toma finalmente forma el pequeño erizo de mar (H).










# Encendedor

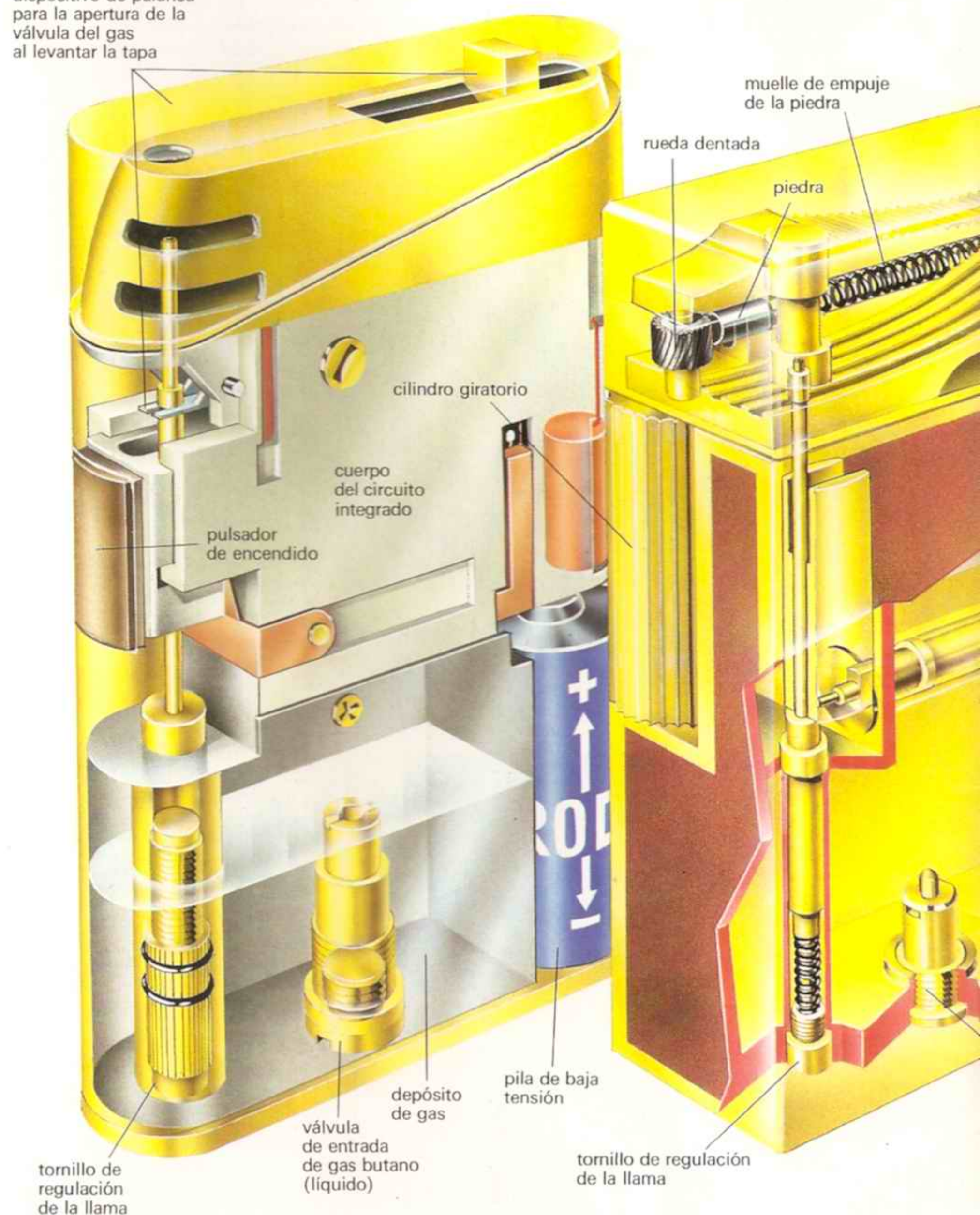
Un encendedor es un pequeño dispositivo que consiste en un regulador que distribuye el combustible de forma dosificada y un sistema de encendido. Como el combustible se quema lentamente en presencia de aire, se obtiene una llama totalmente inofensiva, por lo que resulta ideal para encender puros y cigarrillos.

**Primeros modelos** Cuando se apretaba el gatillo de un fusil antiguo, un martillito de acero golpeaba un trozo de sílice y producía algunas chispas; éstas prendían la pólvora que hacía de fulminante en la cazoleta y el fulminante a su vez encendía la carga explosiva dentro del cañón. Los primeros encendedores utilizaban una parte de este sistema. Un martillito de acero, unido a un muelle tenso, se podía levantar y dejar caer de forma que golpeara un trozo de sílice sujeto a un lado de un tambor, mandando chispas hacia una capa fina de hojas secadas previamente en un horno.

El primer encendedor de mecha se introdujo en Francia hacia el año 1920. En aquellos modelos las chispas encendían una cuerdecita impregnada de salitre, el componente principal de la pólvora. La cuerda se quemaba muy lentamente, pero era suficiente para encender cigarrillos. Los modelos siguientes utilizaban mechas parecidas a las de las lámparas de aceite, pero en este caso la mecha se empapaba en gasolina, líquido inflamable derivado del petróleo. La llama ardía lentamente, manteniendo bajo el consumo de combustible, y se apagaba bajando una tapa pequeña, que protegía el encendedor cuando no se utilizaba y evitaba que se secara. Para encender estos modelos se necesitaban las dos manos, pero en 1920 se fabricó en Alemania un encendedor que se podía utilizar con una sola mano, pensado especialmente para los veteranos de guerra que habían perdido un brazo. Poco después se fabricó en Estados Unidos un encendedor que se apagaba automáticamente al bajar la tapa. En el encendedor moderno se combinan estas dos características.

**Los encendedores actuales** Después de la II Guerra Mundial se empezaron a fabricar encendedores que utilizaban un combustible gaseoso, como el gas butano, y que han ido sustituyendo a los tradicionales encendedores de gasolina y de mecha. El gas líquido está encerrado a presión dentro de un pequeño depósito. Hay dos válvulas: una en la base o en un lado, para rellenar el depósito, y otra, ajustable en la parte superior, provista de una boquilla que actúa como quemador, donde se produce la llama. El tamaño de la boquilla regula la salida del gas y, en consecuencia, la altura de la llama, que a menudo se puede regular con un tornillo situado en la parte superior del encendedor. Cuando se acaba el gas, se puede volver a llenar el depósito a través de la válvula inferior. Existen bombonas pequeñas para recargar encendedores, las cuales tienen un sistema de acoplamiento al encendedor y una válvula especiales que facilitan la operación. Los encendedores de "usar y tirar" son un invento relativamente reciente. El tubo no es recargable y el encendedor se desecha al agotarse el combustible del depósito.

**Sistemas de encendido** En los encendedores actuales se utilizan tres sistemas de encendido. El primer sistema se basa en las propiedades de algunos materiales de producir chispas al rozar con una superficie áspera, que observó por primera vez el químico austriaco Von Welsbach en 1906. Este químico inventó una aleación de hierro y magnesio con cerio, que constituye la "piedra" utilizada en los encendedores. El método más usado consiste en hacer que la piedra, alojada en un hueco y empujada por un muelle, roce contra una rueda de acero áspera, que se hace girar accionada por el dedo pulgar y que está provista de estrías que hacen saltar la chispa de la piedra. Después de




A) ENCENDEDOR ELECTRONICO DE GAS

B) ENCENDEDOR DE PIEDRA Y GAS




Arriba, un encendedor de cocina que utiliza efecto piezoeléctrico de un cristal especial. La presión manual acciona un perno que comprime el cristal, sujeto por el otro extremo. La compresión por las dos caras de cristal genera cargas eléctricas de signo opuesto que producen una chispa (o arco eléctrico) entre los dos contactos situados en el extremo del encendedor o zona que se acerca al gas.

El encendedor moderno de encendido electrónico (A) utiliza como combustible gas licuado, propano o butano, encerrado a presión dentro de un depósito. Una válvula de cierre hermético permite recargar el depósito con el gas de una pequeña bombona. El encendido se produce por la descarga eléctrica generada a través de un transformador de alta tensión. En el segundo modelo (B), al levantar la tapa empieza a salir el gas, por lo que conviene encender con rapidez; en este caso se trata del sistema tradicional de piedra. El viejo encendedor de gasolina (C) está formado por un depósito de combustible, prácticamente todo el cuerpo de encendedor, en el que se encuentra sumergida una mecha que sale al exterior por un agujero. La mecha está siempre empapada de gasolina, que se inflamará al ser alcanzada por las chispas producidas por el rozamiento de una rueda con estrías contra una piedra formada por un cilindro de polvo prensado con antimonio. La piedra se mantiene en contacto con la rueda por el empuje de un muelle.

la utilización durante largo tiempo la piedra se acaba, pero se puede sustituir fácilmente.

Los encendedores electrónicos utilizan dos tipos básicos de encendido. En uno, una pequeña pila de manganeso de baja tensión (9 ó 12 voltios) carga un condensador, de manera que, al presionar el botón de encendido, el condensador se descarga a través de un minitransformador que eleva la tensión hasta aproximadamente 9.000 voltios, suficientes para producir entre dos electrodos una chispa que enciende el combustible. El otro tipo utiliza una batería de plata y un circuito integrado para producir la descarga de alta tensión.

El tercer sistema de encendido aprovecha el efecto piezoeléctrico, que se basa en la propiedad de algunos cristales, como la sal de Rochelle y algunas cerámicas, de generar una tensión eléctrica cuando son golpeados o sometidos a torsión. En un encendedor que utiliza el efecto piezoeléctrico, al apretar el botón del encendido se suelta un resorte que lanza un pequeño mazo a golpear un bloque de pequeños cristales. La tensión resultante produce una descarga de 6.000 a 8.000 voltios, o incluso mayor, pero de una duración pequeñísima (entre 1/30.000 y 1/40.000 de segundo), suficiente para que la chispa que se genera inflame el gas. Un encendedor de este tipo no utiliza pila ni piedra y sólo necesita la recarga periódica de combustible.

Véase **Combustión**

rueda dentada
para el encendido
por rozamiento
con la piedra

mecanismo
de apertura
de la válvula
de gas al
levantar la tapa

mecha
empapada
de gasolina

piedras
de acero-cerio

regulador del paso
de gas al conducto
de encendido

depósito lleno
de gasolina
y algodón

muelle
de empuje
de las piedras

algodón
empapado
de gasolina

depósito de gas

válvula de entrada
de gas butano
(líquido)

**C) ENCENDEDOR DE GASOLINA Y PIEDRA**

# Encuadernación

Para encuadernar un libro, esto es, para reunir los diversos fascículos (*signaturas*) que lo componen en un único bloque ajustado en su cubierta, son necesarias muchas operaciones: separación en signaturas de las hojas impresas, plegado y colocación en orden (*alzado*) de dichas signaturas, cosido, cortado, colocación de la cubierta (*entapado*) y otras operaciones más.

Antes de la invención de las máquinas de imprimir y encuadernar, los libros eran muy escasos y se conservaban en posición horizontal y, a menudo, sobre atriles especiales; así, la función de la cubierta era básicamente decorativa. El ornamento del libro se aplicaba en las caras anteriores y posteriores de la cubierta y en los ángulos exteriores. Cuando se comenzó a conservar los libros en posición vertical, se alineaban con el lomo hacia la parte interna. A mediados del siglo XVI se extendió la costumbre de disponer los libros sobre estantes en sentido vertical y con el lomo hacia afuera, como se hace en la actualidad. Fue entonces cuando se inició la costumbre de decorar también esa parte del libro.

Al no existir máquinas *ad hoc*, todas las operaciones antes mencionadas se realizaban a mano por artesanos que a menudo trabajaban en los talleres de los orfebres y pintores: en los códices medievales se encuentran cubiertas hechas con tablillas de madera revestidas de oro, plata, marfil y algunas adornadas con pinturas y piedras preciosas; más tarde, en los siglos XV y XVI, aparecen elegantes cubiertas en cuero repujado.

El cosido se efectuaba antiguamente en un bastidor especial que consistía en una base, dos columnas verticales y, entre ellas, una barra horizontal. Entre la barra y la base del bastidor se colocaban, verticalmente, de tres a cinco pedazos de bramante. Cada una de las signaturas, a las que se habían practicado agujeros, se cosía y ligaba a la siguiente con los bramantes pasados por los orificios, hacia dentro primero y hacia afuera después, sucesivamente por todas y cada una de ellas. El final de los bramantes se cortaba dejando colgar los extremos que, en una segunda operación, servían para afianzar el libro a la cubierta. El lomo de las signaturas así cosidas se encolaba, y se prensaba el conjunto hasta el momento de montar la cubierta.

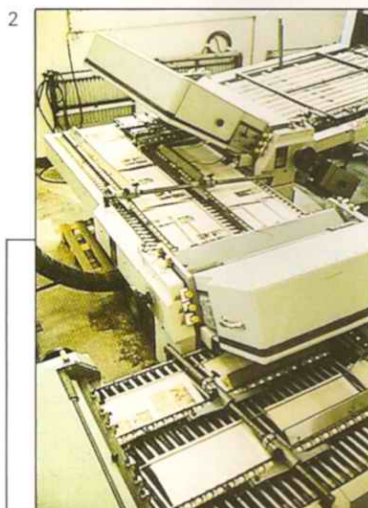
Hoy, todas esas operaciones se realizan en máquinas rápidas, en un ciclo de "producción en cadena" que comienza inmediatamente después de la impresión; al término de la misma (puesto que las páginas no se imprimen una a una, sino reunidas en hojas grandes de formato estándar) se produce el corte (*guillotinado*) de las hojas en signaturas, que después se pliegan en 4, 8, 16, 32, o más páginas, según las dimensiones del libro. Si la impresión se ha realizado en una rotativa, se obtienen directamente de la propia máquina signaturas plegadas. Después de prensar-

Las páginas de un libro se imprimen en hojas, tantas como ejemplares de una obra se pretenda publicar. Antes de pasar a la encuadernación, la pila de hojas se iguala (*capicular*) y, seguidamente, se guillotina al formato correcto (1). A continuación, las hojas se pliegan en una plegadora automática (2) y se pasa a componer (*alzar*) el libro, de forma que todas las signaturas

1



2



**FASES DE PRODUCCION EN LA ENCUADERNACION INDUSTRIAL**

IMPRESION EN MAQUINA PLANA

CAPICULADO

GUILLOTINADO

PLEGADO

IMPRESION EN ROTATIVA

ENCUADERNACION RUSTICA

PLEGADO DE SIGNATURAS

COSIDO O FRESADO

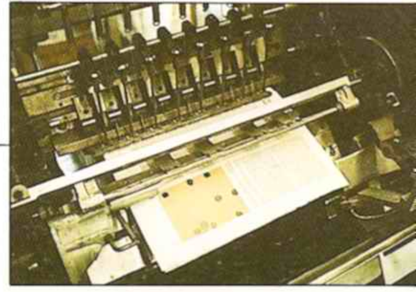
ALZADO

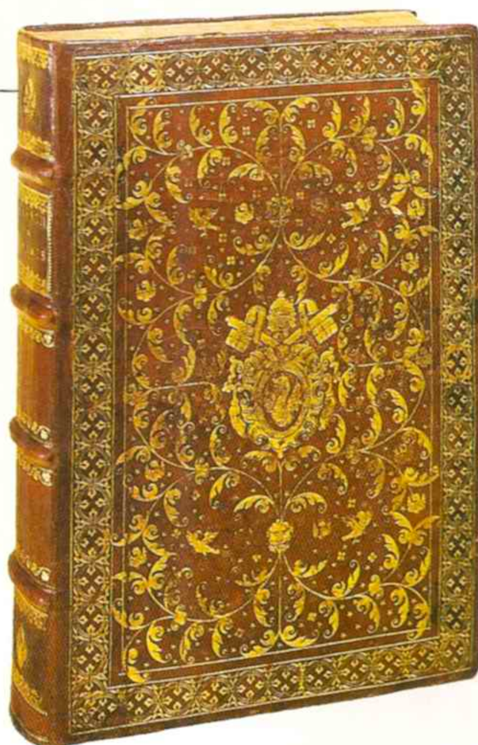
ENCUADERNACION CON TAPA DE CARTON

3



4





las, ya sea para hacer salir el aire que las hace voluminosas, ya sea para fijar el pliegue, las signaturas son *alzadas* en correcta sucesión para el plegado o el cosido; las pilas de signaturas que constituyen el libro completo pasan a una máquina de cosido rápido que une las signaturas entre sí. A continuación se unen al bloque las *guardas*, hojas de papel fuerte que, al término del ciclo, se pegarán a la parte interior de la cubierta.

Después de encolar el lomo se procede —con una guillotina de tres cuchillas— al corte simultáneo de la cabeza, el margen y el pie del libro, corte que libera por tres lados las páginas antes unidas. Se aplica una gasa en el lomo, se le redondea o no, según las características del libro, y se le añaden dos *cabezadas* en los extremos que harán el libro más elegante. Finalmente se montan las cubiertas (*tapas*) fabricadas en otra máquina y consistentes en dos elementos rígidos de cartón recubiertos de papel, tela o materiales sintéticos, que además de revestirlo forman un lomo relativamente flexible. Las tapas se pegan a las guardas, sometiendo el conjunto a presión para asegurar una perfecta adherencia.

Una encuadernación más económica, llamada *rústica*, se realiza pegando directamente sobre el lomo de las signaturas cosidas unas tapas de cartulina impresa por una o por ambas caras.

Más moderna y económica es la *encuadernación fresada*, que elimina el cosido de las signaturas y lo sustituye por una capa de cola especial; las signaturas son previamente fresadas por el lomo con un útil (*fresa*) que "endenta" el papel, de manera que cada una de las páginas del libro quede perfectamente pegada a la capa de cola que se ha aplicado al lomo.

Véase **Impresión en offset; Libro; Rotativa**

queden en el orden correcto (3). Las signaturas alzadas se cosen (4). Una vez cosidas, si se va a realizar una encuadernación en "rústica", se pegan al lomo de la cubierta mediante una cola flexible. Los libros con encuadernación de tapa rígida (de cartón) exigen la previa fabricación por separado de la cubierta, que consiste en pegar el cartón al material elegido y grabarlo por estampación (5). Después, el lomo, cuidadosamente preparado, fija las hojas cosidas y cortadas con la guillotina trilateral en los tres lados libres (6). Unicamente después de esta preparación el libro puede ser montado en las cubiertas mediante la operación de *entapado* (7). El acabado final se da mediante la presión con que se mantiene el libro durante el secado de la cola.




6

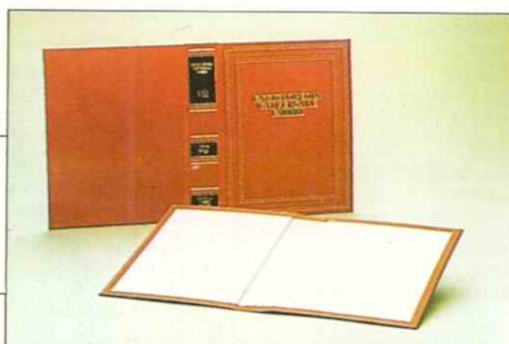
PEGADO DE GUARDAS
CORTE EN TRILATERAL
ENCOLADO DEL LOMO
ENTAPADO
REDONDEADO DEL LOMO
PEGADO DE GASA
COLOCACION DE CABEZADAS
LIBRO TERMINADO
EMPAQUETADO

GUILLOTINADO DE CARTON
CORTE DE REVESTIMIENTO
PEGADO
ESTAMPACION

7




5



# Endocrino, sistema

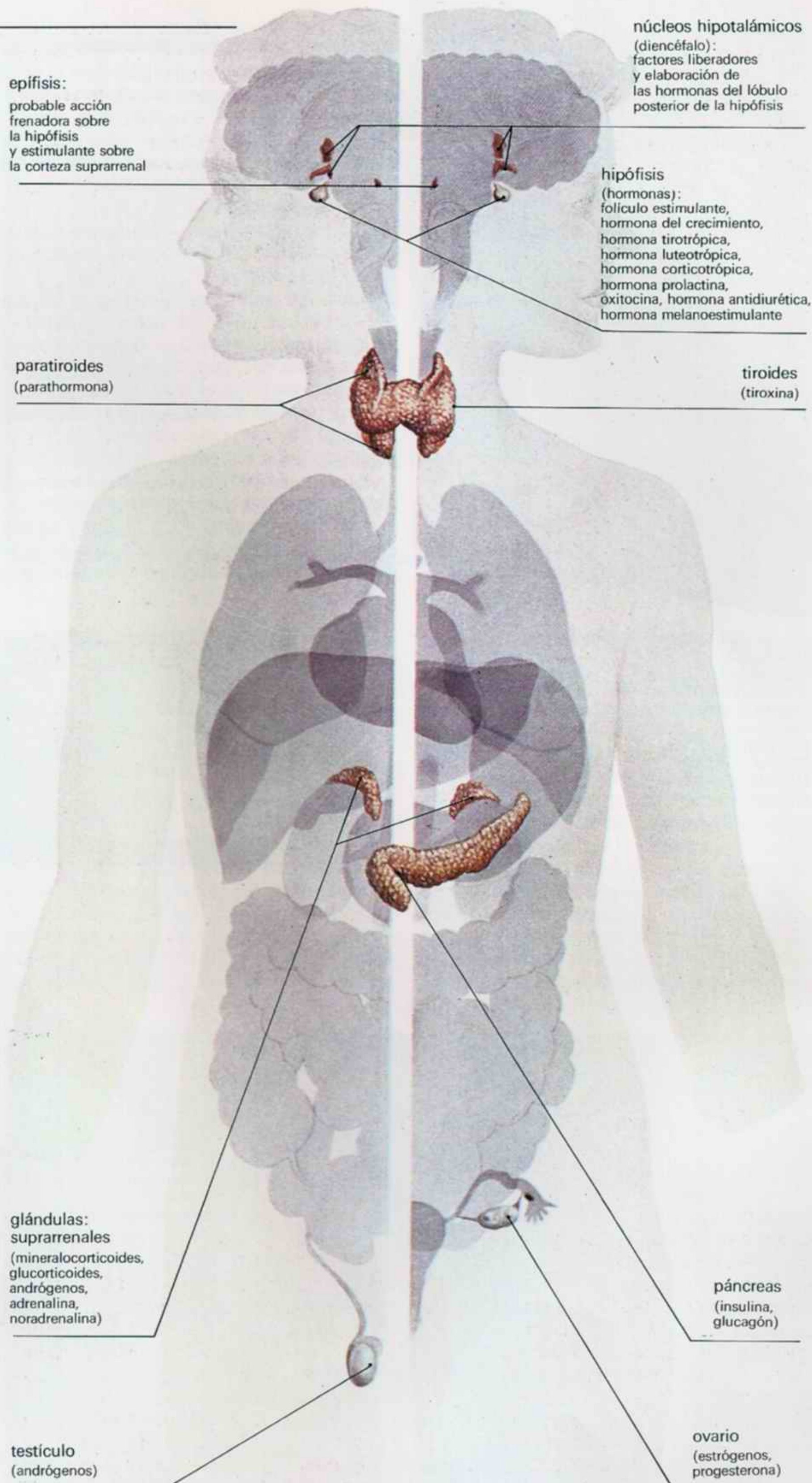
La función del sistema endocrino es la producción de unas sustancias particulares, denominadas *hormonas*, que estimulan o inhiben los órganos o tejidos (*órganos* o *tejidos diana*) con el fin de conseguir una actividad orgánica perfectamente equilibrada. El medio a través del cual tales hormonas alcanzan los distintos puntos del organismo es la circulación sanguínea. Desde este punto de vista, puede pensarse que el sistema endocrino, juntamente con el nervioso, constituye una parte esencial del sistema general homeostático que regula el equilibrio de todo el organismo.

La descripción completa del sistema endocrino ha podido ser concluida en el momento en que se ha llegado a comprender plenamente la función de las hormonas y que la producción de las mismas se efectúa en órganos y tejidos específicamente diferenciados en su secreción. En efecto: una de las características principales de este sistema es que, al contrario de lo que sucede con otros, está constituido por un conjunto de tejidos, organelos y órganos que no se encuentran reunidos en un mismo lugar, sino que ocupan posiciones muy distantes unos de otros (por ejemplo, la hipófisis y las glándulas sexuales, etcétera).

El conocimiento del sistema endocrino ha presentado una evolución compleja: ya en los siglos XVIII y XIX, los anatomistas habían puesto de manifiesto la existencia de órganos caracterizados por ciertas particularidades funcionales que les hacían similares en algunos aspectos a las glándulas. Tales órganos, como el hígado y el páncreas, fueron llamados *glándulas imperfectas* o *glándulas vasculares*, debido a que con los métodos de estudio de entonces no se lograba observar lo que constituye realmente la característica principal de las glándulas, es decir, la presencia de canales excretores que vierten la secreción en las cavidades corporales.

Las sucesivas investigaciones microscópicas llevadas a cabo entre finales del siglo XIX y comienzos del XX permitieron observar la existencia, en los típicos órganos de naturaleza endocrina, de células con una estructura característica, las cuales se sitúan en estrecha relación con los vasos sanguíneos capilares de los cuales toman el material necesario para la formación de las hormonas que posteriormente serán segregadas en esos mismos vasos sanguíneos.

Paralelamente se desarrollaban estudios de fisiología, utilizando la técnica de la extirpación de la supuesta glándula endocrina y observando las deficiencias funcionales que se originaban por su ausencia (alteraciones en el desarrollo, en las funciones sexuales, en el ritmo cardiaco, etc.). Tales deficiencias eran posteriormente combatidas administrando extractos de las glándulas endocrinas (o supuestamente endocrinas) que habían sido extirpadas. De esta manera nacía la Fisiología experimental que permitía sentar sobre nuevas bases la comprensión de los




El sistema endocrino está constituido por el conjunto de glándulas de secreción interna, o glándulas endocrinas, especializadas en la producción de hormonas, sustancias que una vez sintetizadas son vertidas a la sangre en cantidades dependientes de las exigencias del organismo y transportadas a todos los órganos por la circulación sanguínea. Las hormonas ejercen su acción sobre los procesos metabólicos no sólo acelerando o ralentizando su desarrollo, sino también coordinándolo y armonizándolo hacia un único objetivo: la eficiencia del organismo. Cada glándula endocrina posee características propias que derivan de su origen embriológico, de su estructura histológica y de su papel fisiológico. Sobre estas líneas, en un perfil masculino y en otro femenino, se ilustran las glándulas endocrinas y se indican las hormonas que producen y segregan.

problemas relativos a la patología médica y, al mismo tiempo, se desarrollaba una nueva rama de la ciencia médica: la Endocrinología.

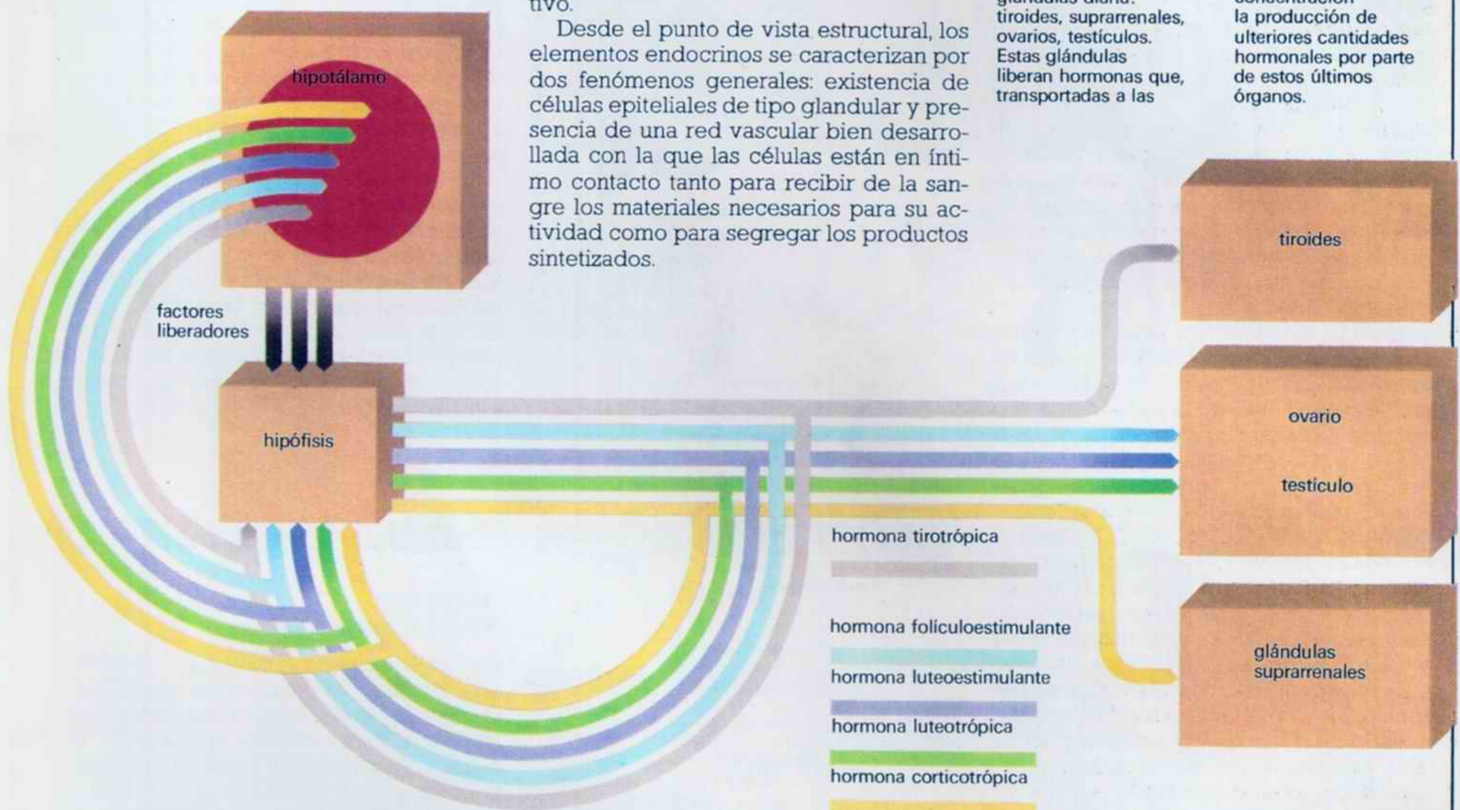
La identificación de los verdaderos órganos endocrinos se ha conseguido utilizando dos técnicas complementarias: químicas y citológicas. Se ha podido así, por una parte, caracterizar la estructura típica de las sustancias producidas y, en muchos casos, reproducirlas en el laboratorio, y, por otro lado, establecer una relación precisa entre las especializaciones estructurales de la célula y los productos segregados. En la actualidad, en lugar del término *hormona*, utilizado para indicar la secreción de las glándulas endocrinas, se prefiere adoptar el de *mensajero químico*, que permite recoger bajo un único término tanto sustancias de acción y origen bien conocidos (las hormonas) como las neurohormonas y otras sustancias de las que hoy en día no se conocen perfectamente ni sus efectos ni su origen.

Ambos métodos, el químico y el citológico, han permitido por tanto definir con rigor el sistema endocrino, constituido por elementos que presentan una diferenciación estructural propia y una especificidad de naturaleza química y funcional de los productos segregados. Los materiales constitutivos del sistema endocrino presentan diferentes tipos de organización: así, podemos ver desde órganos propiamente dichos hasta organelos o corpúsculos, o bien simples tejidos, para llegar en algunos casos a simples células que se hallan dispersas en el interior de otros órganos cuyas funciones son completamente distintas de las endocrinas.

Se pueden considerar verdaderos órganos endocrinos: la hipófisis y la epífisis, localizadas en el interior del cráneo, la glándula tiroides y las paratiroides, en el cuello, y las suprarrenales, que se encuentran en el abdomen.

Se consideran como organelos o corpúsculos endocrinos los islotes de Langerhans, localizados en el páncreas, y los cuerpos lúteos que se encuentran en las gónadas femeninas. Tejidos endocrinos son las células intersticiales situadas en el testículo del hombre, las células de la teca de los ovarios, además de las células dotadas de actividad endocrina presentes en el estrato mucoso del aparato digestivo.

Desde el punto de vista estructural, los elementos endocrinos se caracterizan por dos fenómenos generales: existencia de células epiteliales de tipo glandular y presencia de una red vascular bien desarrollada con la que las células están en íntimo contacto tanto para recibir de la sangre los materiales necesarios para su actividad como para segregar los productos sintetizados.




El hipotálamo produce sustancias que, actuando sobre las células de la hipófisis, la estimulan para producir las hormonas glandulotrópicas que a su vez estimulan las glándulas diana: tiroides, suprarrenales, ovarios, testículos. Estas glándulas liberan hormonas que, transportadas a las distintas partes del organismo gracias a la circulación sanguínea, cuando llegan a nivel de la hipófisis y del diencéfalo, regulan mediante su concentración la producción de ulteriores cantidades hormonales por parte de estos últimos órganos.

En los órganos endocrinos propiamente dichos, las células con características glandulares se encuentran dispuestas en forma de nidos de golondrina o en cordones, entre los que se encuentran los vasos sanguíneos. Sin embargo, tal disposición puede presentar considerables variaciones de un órgano a otro y está en relación con las dimensiones, el tipo de hormona producida y el origen de la glándula. En la glándula tiroides, por ejemplo, en la que la hormona liberada es previamente almacenada, las células glandulares toman la forma de una lámina que rodea una cavidad en la que se conserva la secreción.

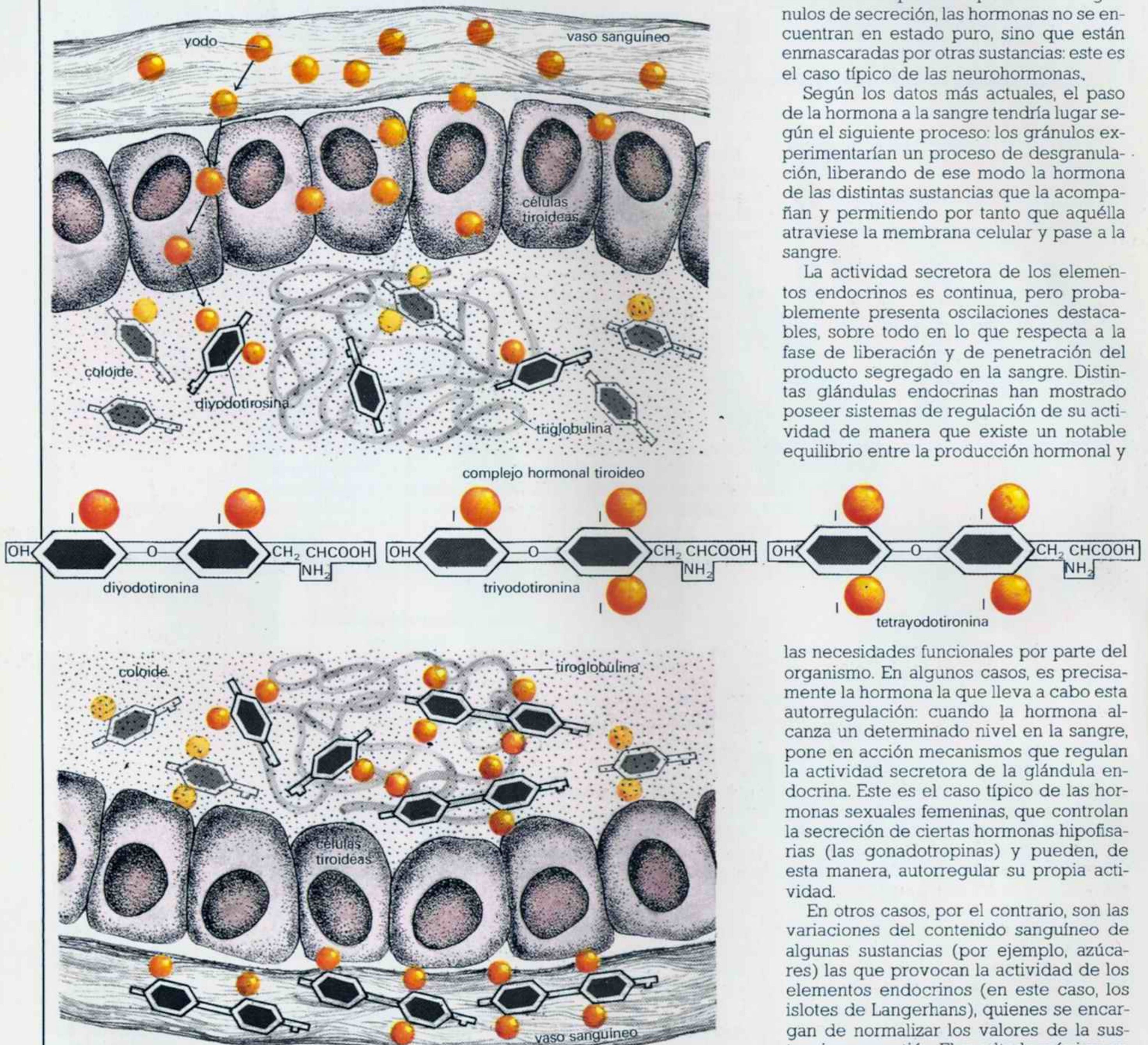
Los tejidos endocrinos, a su vez, no poseen una estructura particular, sino que se encuentran dispersos en diferentes órganos, bajo forma de grupos o de bloques de células, o bien se encuentran simplemente dispuestos, sin ninguna organización, en el tejido conjuntivo de los órganos que los alojan. En algunos órganos viscerales puede observarse además el caso extremo de simples células endocrinas que se hallan situadas entre las células epiteliales que recubren la mucosa.

Los distintos tejidos endocrinos provienen (como todos los demás tejidos orgánicos) de las tres hojas o capas embrionarias: de este modo, del endodermo (capa interna) derivan los elementos de las glándulas tiroides y paratiroides, los islotes de Langerhans y las células secretoras presentes en el estómago y en el duodeno; del ectodermo (capa externa) se originan la hipófisis, la epífisis y los elementos ligados a la secreción de neurohormonas; del mesodermo (capa intermedia) derivan los elementos que sintetizan hormonas de naturaleza lipídica.

El modo de formación de los elementos endocrinos presenta notables variaciones: algunas glándulas se originan de las hojas embrionarias, formando una prolongación (botón epitelial) que se aleja de la zona de origen, y posteriormente pierde toda relación con esta última; en otros casos son, por el contrario, células aisladas que se desprenden de la hoja embrionaria original y dan, a continuación, origen a la glándula (éste es el caso, por ejemplo, de las suprarrenales); en el caso de las cé-

lulas endocrinas dispersas, el mecanismo de origen embriológico es menos conocido, siendo difícil establecer con precisión la capa embrionaria original.

Las más modernas técnicas de investigación ultraestructural y bioquímica han permitido establecer que existe una estrecha relación entre el modo de organización de las células y el tipo de hormona producida. Por ejemplo, en el caso de las glándulas endocrinas especializadas en la producción de hormonas proteicas, las células están provistas de todos los organelos típicos para la síntesis de proteínas (ribosomas, amplio retículo endoplasmático, ergastoplasma). Por otro lado, las glándulas endocrinas que producen hormonas de naturaleza lipídica poseen elementos celulares que presentan amplias estructuras membranosas en las que aparecen los enzimas que conducen a la formación de hormonas lipídicas.



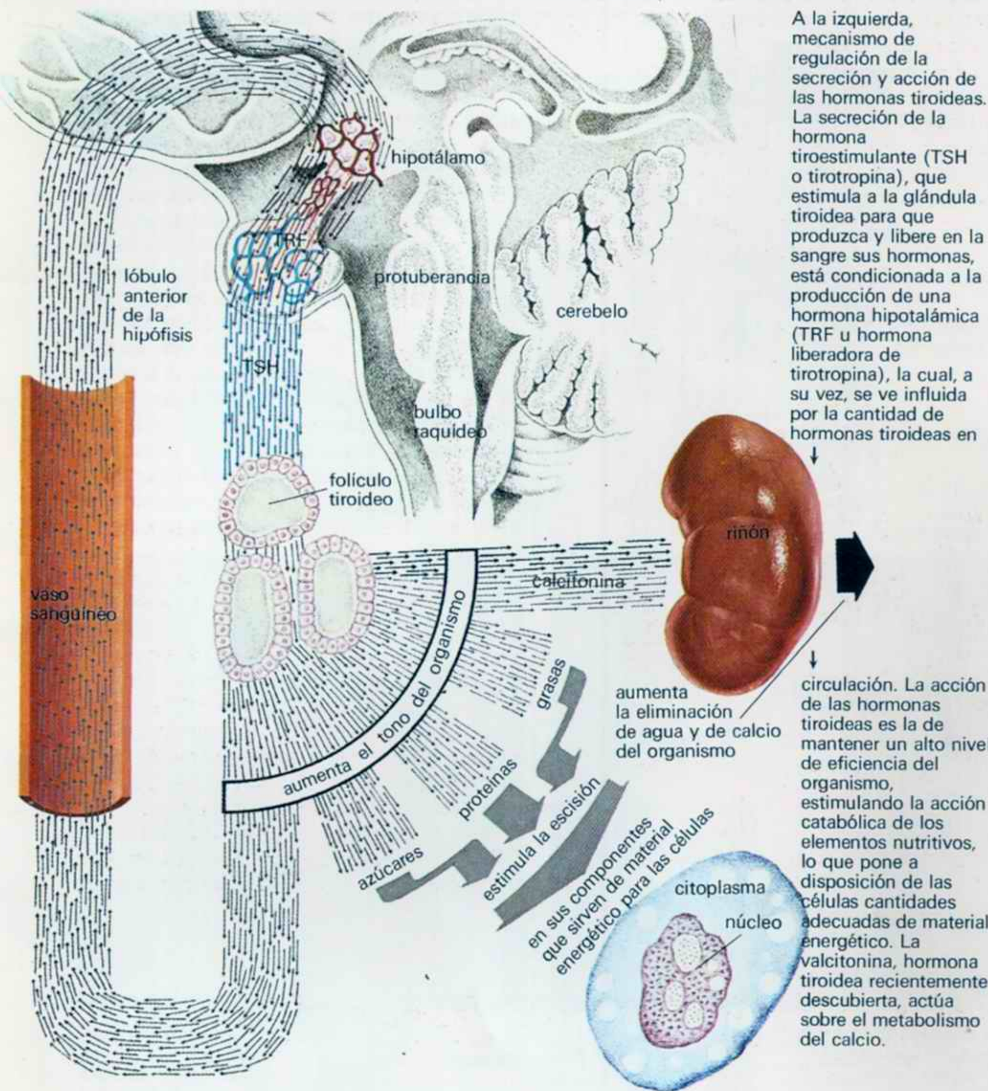

El esquema superior muestra cómo el yodo contenido en la sangre es captado por las células tiroideas y combinado con la tirosina, un aminoácido componente de la tiroglobulina. Según el número de átomos de yodo (uno o dos) que se unen a la tirosina, se constituyen la monoyodotirosina y la diyodotirosina, las cuales, unidas de dos en dos, forman las distintas moléculas de tironinas que constituyen el complejo hormonal tiroideo. En el esquema inferior (sobre estas líneas), como respuesta a los requerimientos hormonales por parte del organismo, algunos enzimas escinden la tiroglobulina liberando las tironinas, que, a través de las células tiroideas, alcanzan intactas la circulación, y las tirosinas, que sufren una pérdida de sus átomos de yodo, los cuales son utilizados de nuevo por la tiroides.

Las cisternas del aparato de Golgi constituyen la zona en la que se verifica la formación de los gránulos de secreción hormonal. Sin embargo, conviene recordar que existen casos en los que en las células de las glándulas endocrinas no se observa ningún gránulo: ello es debido, probablemente, a que la hormona es segregada de manera continua a la sangre, sin ser almacenada previamente bajo forma de gránulos. En algunas glándulas endocrinas en las que están presentes los gránulos de secreción, las hormonas no se encuentran en estado puro, sino que están enmascaradas por otras sustancias: este es el caso típico de las neurohormonas.

Según los datos más actuales, el paso de la hormona a la sangre tendría lugar según el siguiente proceso: los gránulos experimentarían un proceso de desgranulación, liberando de ese modo la hormona de las distintas sustancias que la acompañan y permitiendo por tanto que aquélla atraviese la membrana celular y pase a la sangre.

La actividad secretora de los elementos endocrinos es continua, pero probablemente presenta oscilaciones destacables, sobre todo en lo que respecta a la fase de liberación y de penetración del producto segregado en la sangre. Distintas glándulas endocrinas han mostrado poseer sistemas de regulación de su actividad de manera que existe un notable equilibrio entre la producción hormonal y las necesidades funcionales por parte del organismo. En algunos casos, es precisamente la hormona la que lleva a cabo esta autorregulación: cuando la hormona alcanza un determinado nivel en la sangre, pone en acción mecanismos que regulan la actividad secretora de la glándula endocrina. Este es el caso típico de las hormonas sexuales femeninas, que controlan la secreción de ciertas hormonas hipofisarias (las gonadotropinas) y pueden, de esta manera, autorregular su propia actividad.

En otros casos, por el contrario, son las variaciones del contenido sanguíneo de algunas sustancias (por ejemplo, azúcares) las que provocan la actividad de los elementos endocrinos (en este caso, los islotes de Langerhans), quienes se encargan de normalizar los valores de la sustancia en cuestión. El resultado más importante conseguido estudiando el sistema endocrino es el haber descubierto que todos los distintos órganos endocrinos actúan solidariamente bajo el control de la hipófisis, estrechamente correlacionada, a su vez, con la actividad del hipotálamo, formación nerviosa que tiene una importancia capital.

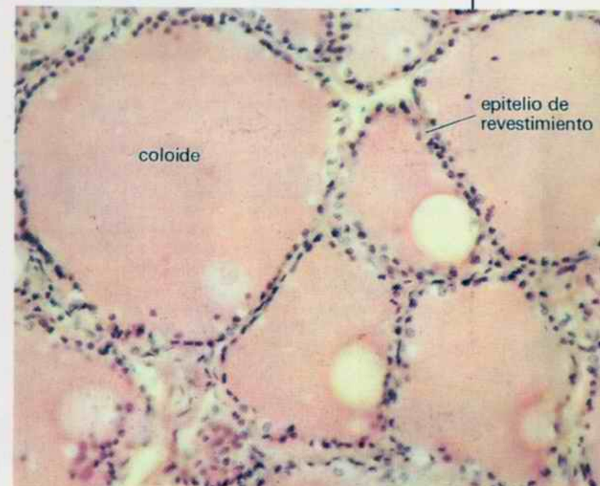



A la izquierda, mecanismo de regulación de la secreción y acción de las hormonas tiroideas. La secreción de la hormona tiroestimulante (TSH o tirotropina), que estimula a la glándula tiroidea para que produzca y libere en la sangre sus hormonas, está condicionada a la producción de una hormona hipotalámica (TRF u hormona liberadora de tirotropina), la cual, a su vez, se ve influida por la cantidad de hormonas tiroideas en circulación. La acción de las hormonas tiroideas es la de mantener un alto nivel de eficiencia del organismo, estimulando la acción catabólica de los elementos nutritivos, lo que pone a disposición de las células cantidades adecuadas de material energético. La calcitonina, hormona tiroidea recientemente descubierta, actúa sobre el metabolismo del calcio.

endocrino está íntimamente correlacionado con el nervioso. La regulación entre los sistemas endocrino y nervioso tiene lugar a nivel del hipotálamo, el cual actúa sobre la hipófisis mediante unas neurohormonas que intervienen a través de una vía química, y a través de vías nerviosas descendentes que controlan las actividades de distintos órganos viscerales.

Al mismo tiempo, el hipotálamo está influido en su acción por impulsos que proceden de los centros de la vida instintivo-emotiva: esto explica cómo es posible que alteraciones de la vida emotiva, la presencia de estados conflictivos y los estados de *stress* puedan actuar sobre el sistema endocrino a través del hipotálamo, provocando alteraciones de la actividad del mismo y la consiguiente aparición de estados verdaderamente patológicos. Actualmente estos detalles pueden explicar, bajo una rigurosa base fisiopatológica, los mecanismos básicos de la aparición de enfermedades psicosomáticas: los impulsos procedentes de la esfera emotiva pueden, mediante los sistemas nervioso y endocrino, modificar en forma más o menos grave la actividad total del organismo. Su tratamiento implica, en consecuencia, una terapéutica compleja: orgánica, por una parte, y psicológica, por otra.

Véase **Glándulas suprarrenales; Hipófisis; Hormonas; Tiroides**




Aparte de esto, existe toda una serie de relaciones entre las distintas glándulas individuales con los órganos diana en común: el conjunto de todas estas relaciones entre los variados elementos endocrinos se denomina hoy día *correlación* o *integración hormonal*. El descubrimiento de estas interacciones representa uno de los capítulos más complejos e importantes de la Medicina, ya que ha permitido comprender el mecanismo por el que se manifiestan determinados fenómenos morbosos y las características presentadas por los síntomas, que dependen no sólo de la lesión de la glándula directamente afectada, sino también de la alteración de todas las otras glándulas que están íntimamente correlacionadas con la acción de la primera. Las interacciones hormonales son muy numerosas, y entre las más importantes podemos mencionar la que existe entre las hormonas sexuales procedentes de los genitales y las procedentes de la corteza de las glándulas suprarrenales, la interacción entre la hipófisis y las glándulas suprarrenales, la interacción entre las hormonas tiroideas e hipofisiarias.

Por otra parte, tal como habíamos anunciado al principio, todo el sutil mecanismo

A la derecha, sección de tejido tiroideo vista al microscopio: el aplanamiento del tejido (epitelio) que reviste los folículos y la cantidad de coloide indican una situación patológica, es decir, una fase de hipoactividad de la glándula tiroidea. Abajo, glándula tiroides de perro vista al microscopio: son evidentes los folículos separados por tabiques de tejido conjuntivo procedente de la cápsula que rodea la glándula.



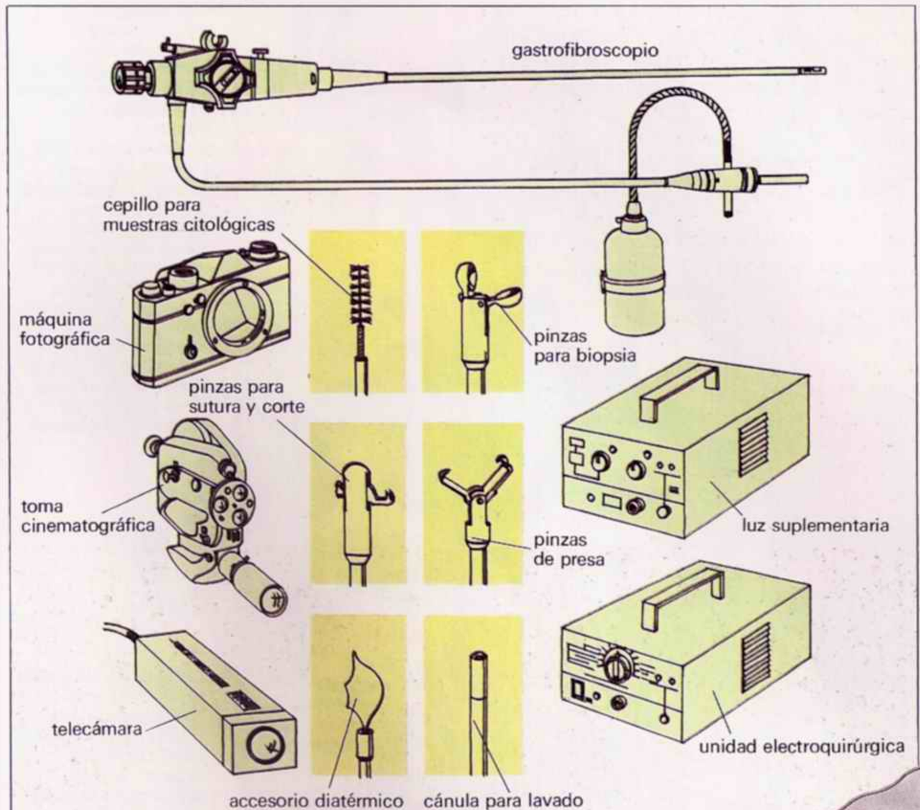
# Endoscopia

En una primera aproximación puede decirse que el *endoscopio* es un tubo luminoso por medio del cual es posible ver en el interior del cuerpo humano; (en los primeros experimentos realizados en el siglo XIX se utilizaron precisamente tubos rígidos). La utilización moderna del endoscopio no comenzó hasta el año 1957 con el advenimiento del gastroscopio flexible, que permitía el examen del esófago y del estómago.

Se pueden practicar varios tipos de endoscopias, pero todas ellas conllevan la introducción de un instrumento examinador en el organismo a través de una apertura existente o de una incisión. Así se hace posible el estudio directo del esófago, intestino, y otros órganos como la vejiga, los bronquios, las articulaciones y también partes del cerebro.

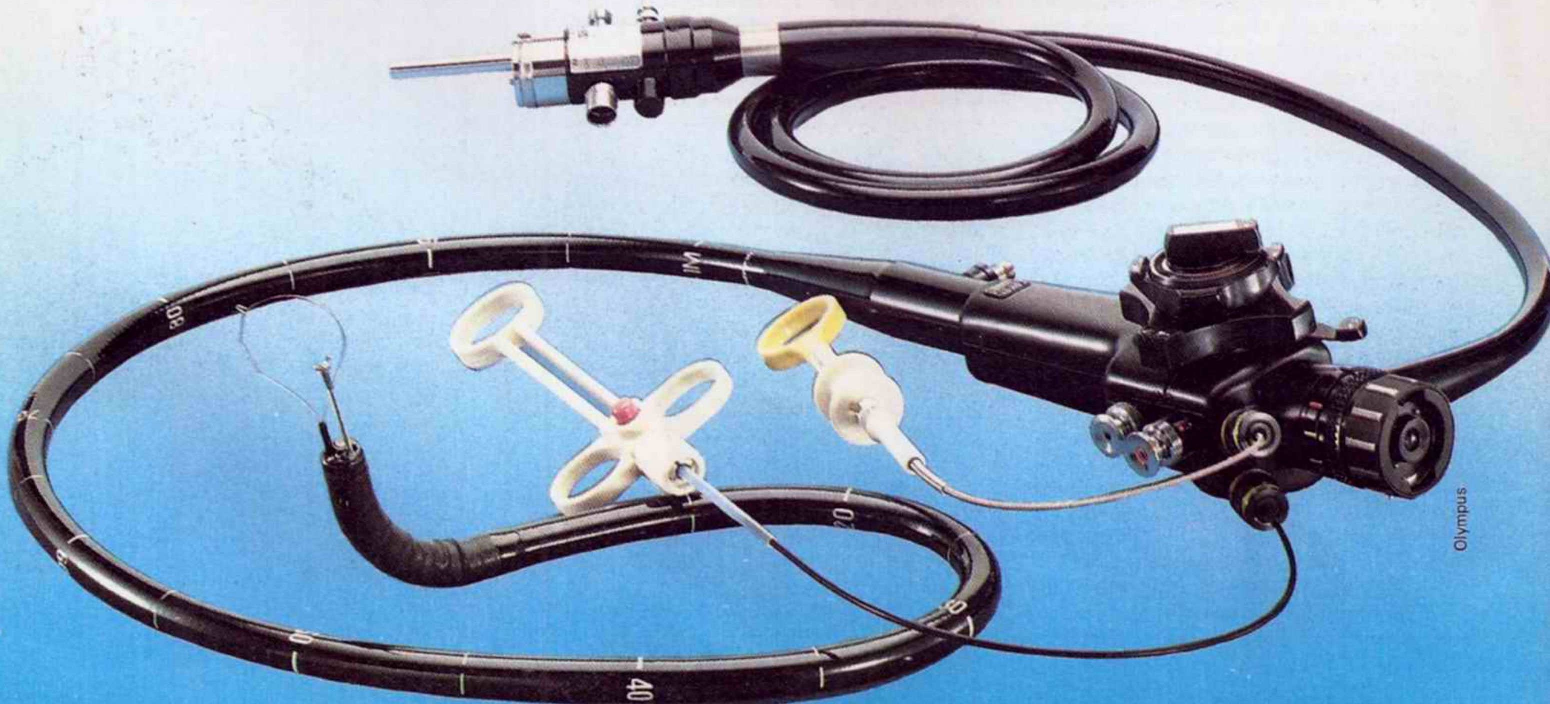
**Tipos de endoscopios** Debido a que todos los endoscopios se utilizan para el examen de los órganos internos, presentan poco más o menos el mismo aspecto. Por lo general, su anchura es equivalente a la de un dedo y su longitud puede ser de varios centímetros o de algunos decímetros. La persona que efectúa la endoscopia tiene a su disposición un mando de control con mirillas luminosas, una empuñadura y un ocular unido al endoscopio a través de un hilo, para maniobrar el aparato y regularlo según la luz, las necesidades de aspiración y la necesidad de introducir aire en el interior del tubo.

La utilización de las fibras ópticas ha aportado una gran mejora a la técnica de la endoscopia. Se trata de unas fibras de vi-



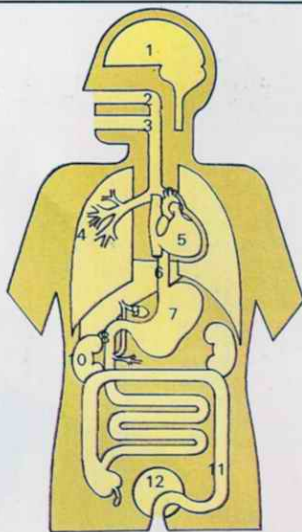

Sobre estas líneas, un equipo completo para endoscopia, mediante el cual se realizan actualmente exploraciones que tienen un gran valor diagnóstico, quirúrgico y terapéutico.

El endoscopio es un instrumento que permite la exploración visual de algunas cavidades presentes en el interior del organismo, con objeto de obtener elementos diagnósticos. La técnica endoscópica se utiliza también para la extracción de fragmentos de tejidos y es, por otro lado, muy importante desde el punto de vista terapéutico. La exploración visual de estas cavidades es posible gracias a que cada endoscopio está provisto de una pequeña fuente luminosa y de un sistema óptico adecuado que se introducen a la vez; el sistema óptico puede estar basado en la utilización de lentes y en la transmisión de la luz de modo rectilíneo, o bien en el uso de las fibras ópticas. Bajo estas líneas, moderno endoscopio gastrointestinal de fibras ópticas, con pinzas y asa diatérmica.



drio similares a cables y que, a través del instrumento, pueden transmitir tanto la luz como la imagen del órgano que se examina. Estas fibras son completamente flexibles y funcionan incluso cuando están dobladas o anudadas, de modo que pueden adaptarse a las curvas y pliegues de los distintos órganos del cuerpo.

El *broncoscopio* es un tipo particular de endoscopio que se introduce en la boca y permite la exploración de la tráquea, la laringe, las cuerdas vocales y la zona bronquial. Si se sospecha la posible existencia de un tumor, el instrumento es adaptado de modo que pueda llevar a cabo "cepillados" o extraer muestras de las sustancias superficiales, que posteriormente se analizarán en el laboratorio. Por otra parte, el broncoscopio es capaz de extirpar las pequeñas obstrucciones que produzca el moco en los bronquios y de

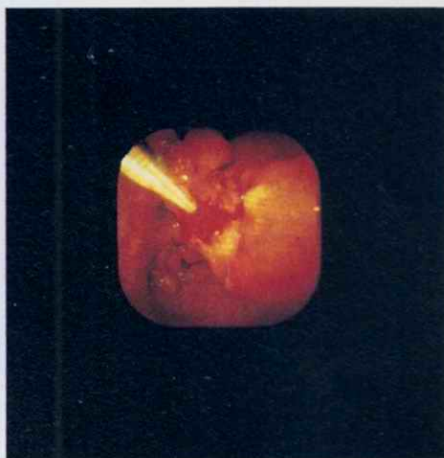



ligero y algunas veces se utiliza un anestésico en forma de aerosol para aplicar en la garganta. El endoscopista hace tenderse al paciente sobre un costado, con la cabeza vuelta hacia arriba; después dirige el instrumento hacia la garganta pidiendo al paciente que lo trague. Por lo general esto tiene lugar con facilidad y sin riesgos. El explorador puede, por lo tanto, mirar a través del ocular y hacer avanzar lentamente el tubo a través del esófago y el estómago y, a continuación, por el intestino delgado. El instrumento está adaptado para realizar diversos cometidos. Por ejemplo, posee un par de "pinzas" finísimas capaces de extraer una muestra de tejido para su examen al microscopio.

La extirpación de pólipos puede ser efectuada por medio de un hilo metálico en forma de lazo (también conocido como *asa metálica de cauterio*). Si una parte está obstruida por tejido, éste puede ser eliminado, y en algunos casos pueden localizarse y extraerse ciertos cuerpos extraños (como, por ejemplo, un alfiler ingerido). A veces incluso se pueden tomar fotografías para facilitar el diagnóstico.

Gracias a sus variadas e importantes aplicaciones, la endoscopia ha eliminado la necesidad de muchas intervenciones quirúrgicas con fines exploratorios, especialmente en el abdomen. Es extremadamente útil para el diagnóstico de ciertas enfermedades, en particular úlceras, gastritis y otras inflamaciones de la mucosa del estómago, tumores benignos y malignos, y trastornos del esófago.





Fotos: Prof. Mirelli

Véase **Fibras ópticas; Ulcera**

Arriba, los órganos huecos del cuerpo humano que pueden ser explorados por endoscopia: 1) ventrículos cerebrales, 2) nasofaringe, 3) cuerdas vocales, 4) bronquios, corazón, 6) esófago, 7) estómago, 8) duodeno, 9) colédoco, 10) riñón, 11) colon, 12) vejiga. La endoscopia ha demostrado ser de utilidad fundamental en el diagnóstico precoz del cáncer de estómago: en las fotografías sobre estas líneas, pólipo del estómago malignizado. Abajo, un fibroscopio ultrafino con tubos de inserción cuyos diámetros varían entre 1,8 y 2,7 mm. La inserción percutánea o mediante intubación permite la observación del tracto biliar y de los senos paranasales: de esta forma tanto la exploración de los bronquios y de los uréteres, especialmente difícil en los niños, como la de otras regiones difícilmente alcanzables es actualmente una tarea que no conlleva especial dificultad o peligro. Además, el endoscopio ultrafino, utilizado en asociación con el duodeno-fibroscopio, puede ser introducido en la ampolla de Vater para la exploración de los conductos biliares y pancreáticos.

tomar las muestras necesarias para una posible biopsia.

El *culdoscopio* es un instrumento que se introduce en la vagina y que se utiliza para la exploración de los órganos genitales femeninos; puede emplearse también para guiar algunas intervenciones quirúrgicas, como, por ejemplo, la de esterilización.

El *gastroscopio* se introduce a través de la boca y está adaptado particularmente para el diagnóstico de úlceras. Cerca del 10% de las úlceras gástricas está causado por tumores malignos y este método facilita un diagnóstico precoz y la relativa posibilidad de curación. Una reciente invención en este campo es el *miniendoscopio*, o endoscopio flexible ultrafino, un endoscopio de tamaño muy reducido que se puede introducir por vía oral y que puede llegar a zonas difíciles de alcanzar, como son, por ejemplo, las vías biliares o los conductos pancreáticos.

El *sigmoidoscopio* tiene una longitud de cerca de 25 cm y no sólo permite la observación de la zona anal sino que también es capaz de llegar al intestino grueso. Esto permite el diagnóstico e incluso la extracción de pólipos (pequeñas excrecencias generalmente benignas) o de tejidos para biopsia. El *colonoscopio* tiene distintas longitudes para poder alcanzar las partes más distantes del colon y se introduce a través del recto.

El *rectoscopio* es uno de los instrumentos más simples dentro de los endoscopios; tiene sólo unos pocos centímetros de longitud y se utiliza para la exploración de la zona rectal y para la observación de hemorroides y laceraciones (venas engrosadas o bien roturas del esfínter anal).

**Uso de la endoscopia** Pensar en la introducción de un largo tubo para el estudio, por ejemplo, del esófago y de los órganos abdominales atemoriza a muchas personas. Sin embargo, actualmente la endoscopia constituye una exploración que origina pocas molestias. Con frecuencia, para facilitar la relajación del paciente se aconseja la administración de un sedante



Olympus

# Energía

Pocos conceptos han experimentado una evolución tan notable como el de energía. Sin duda, debido a las formas diversas en que ésta se pone de manifiesto en el Universo. La energía interviene en todos los procesos del mundo real. Como decía ya en el siglo XIX Ostwald, "nada puede producirse sin que la energía tome parte, lo mismo que nada sucede que no tenga su lugar en el tiempo y en el espacio".

La *energía* se define, generalmente, como la capacidad de producir un trabajo. Entendiéndose por *trabajo* todo proceso en el que una fuerza desplaza o deforma un cuerpo.

La cantidad de energía que posee un cuerpo es limitada y se "gasta" al realizar un trabajo. En sentido estricto, *gastar energía* significa transformar un tipo de energía en otro. Cuando una piedra se precipita vertiginosamente por la ladera de una montaña, va perdiendo energía hasta llegar a la llanura en que se detiene. Un análisis de la realidad nos llevaría a la conclusión de que la energía de la piedra se convierte primeramente en energía térmica y cinética, para transformarse esta última también en calor.

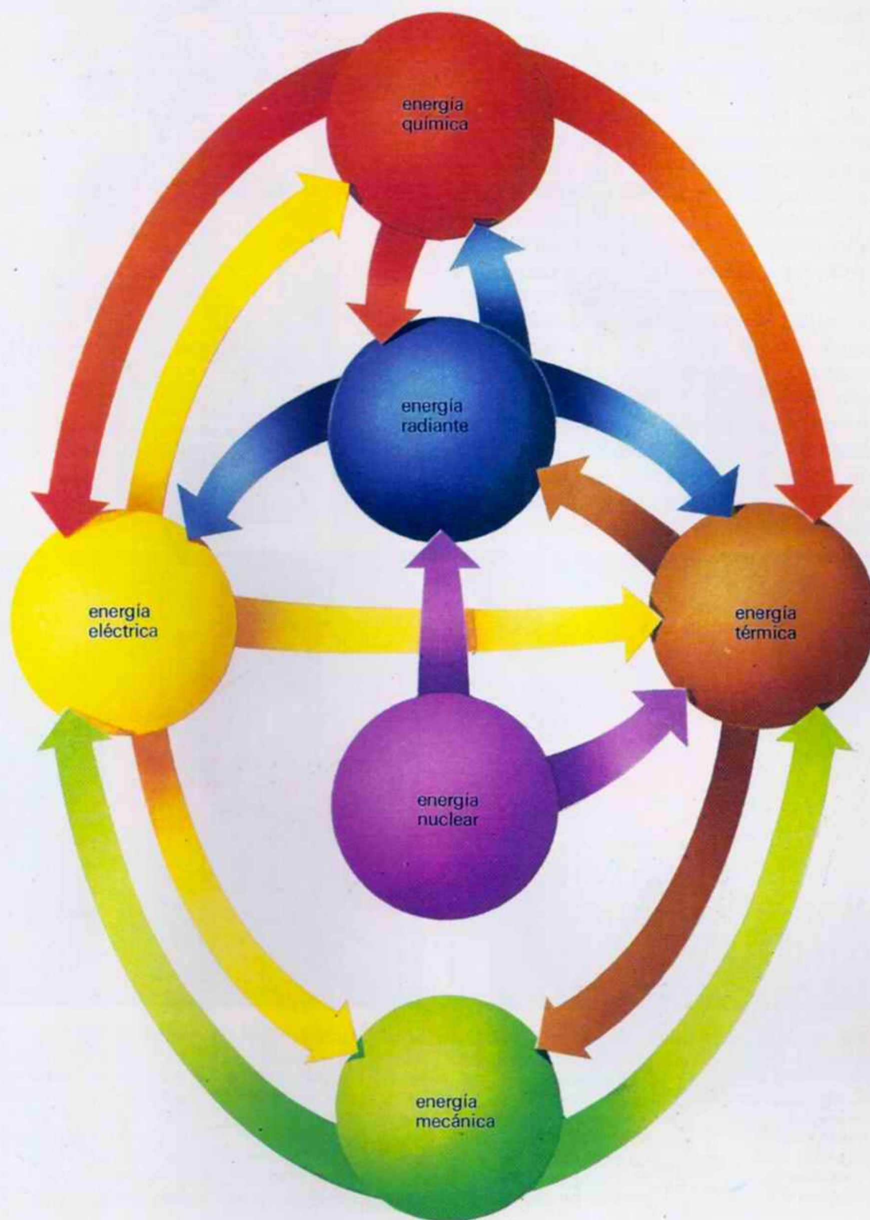
**Formas de la energía** Como la piedra en lo alto de la montaña, el agua que contiene un embalse posee una *energía potencial*, o de posición, porque es capaz de realizar un trabajo cuando al salir a gran velocidad mueve las palas de una turbina. La capacidad para realizar trabajo depende de la diferencia de nivel (altura) entre la salida del agua y la superficie del embalse.

El chorro de agua que mueve las palas de la turbina posee una energía de movimiento o *cinética* (del vocablo griego que indica movimiento).

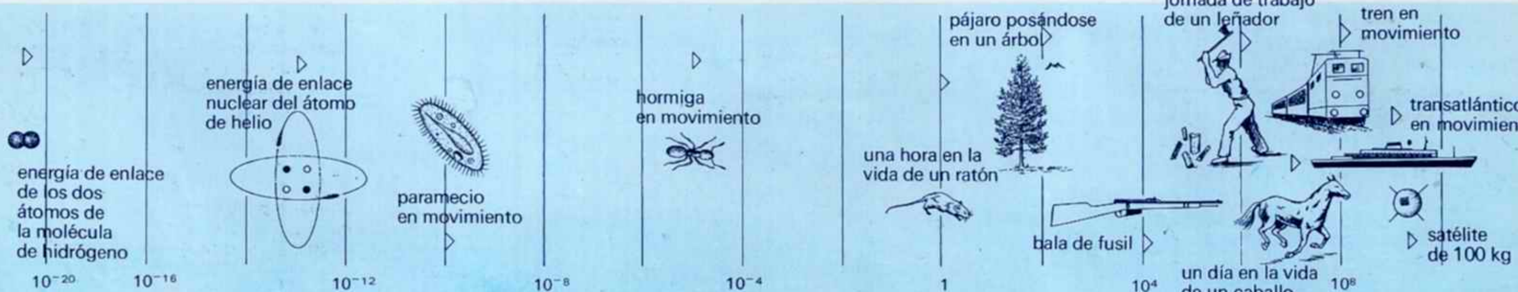
Estos dos tipos de energía, cinética y potencial, reciben el nombre de *energía mecánica*. Cuando un cuerpo cae libremente en el vacío, la energía potencial gastada es igual a la energía cinética ganada; en cualquier punto de su caída la suma de ambas energías (energía mecánica) para ese cuerpo permanece constante.

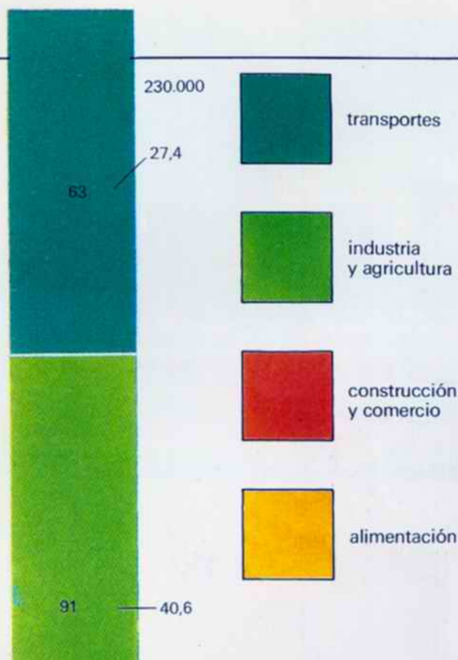
La energía potencial que posee el agua del embalse es una *energía potencial gravitatoria*, mientras que la que posee un arco tensado y un resorte estirado o comprimido es una energía potencial elástica.

El calor desprendido por un radiador es un ejemplo de *energía térmica* transmiti-



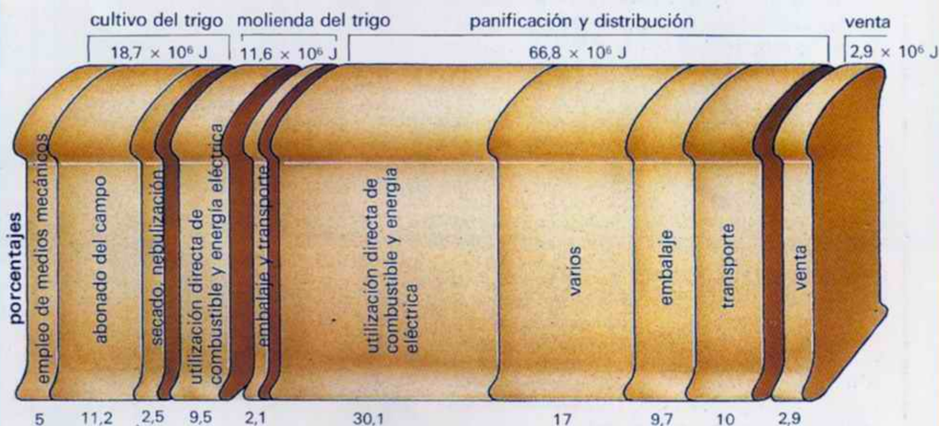

En la base de todo el Universo, desde el átomo al hombre y al Sol, y de todas las ciencias conocidas (Química, Física, Biología, etc.) están las leyes que definen el comportamiento de la energía. La manzana que cae es energía, lo mismo que el trozo de carbón sepultado hace millones de años en las entrañas de la Tierra. La historia del hombre, desde la época de las cavernas a la era espacial, ha registrado enormes progresos cada vez que se descubría una nueva fuente de energía, desde el fuego a la fisión nuclear. El estudio de la energía es el estudio del mecanismo que mueve el Universo en todos sus infinitos aspectos. Bajo estas líneas se representan varias formas de energía y su potencial relativo. Podemos definir la energía como la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo: moverse es energía, levantar y dejar caer un cuerpo es producir energía, las plantas que crecen desarrollándose a partir de una pequeña semilla captan energía solar en un proceso llamado fotosíntesis. En la selva amazónica las plantas producen 2.700 millones de metros cúbicos de



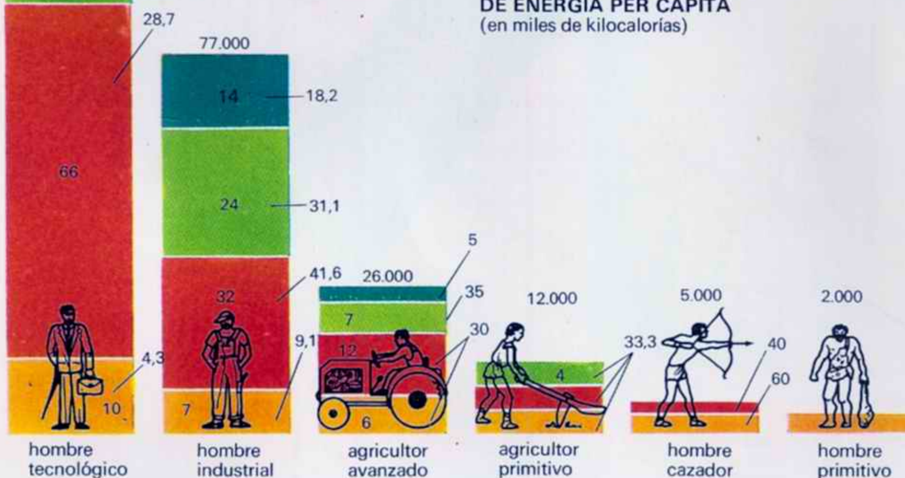



## ENERGIA NECESARIA PARA LA FABRICACION DE UN KILOGRAMO DE PAN

La sociedad industrializada, con su gran desarrollo urbano, es, desde un punto de vista ecológico, una máquina de producir desechos. Abajo se ha esquematizado la energía necesaria para la fabricación de un kg de pan, desde la espiga hasta su recepción en los distintos puntos de venta en una típica sociedad industrializada. La energía necesaria para obtener el mismo producto es unas 100 veces menor en una sociedad agrícola con un buen nivel de desarrollo.




### CONSUMO DIARIO MEDIO DE ENERGIA PER CAPITA
(en miles de kilocalorías)




madera al año, es decir, un volumen igual al de 23.000 rascacielos de 50 pisos. Sin embargo, la selva no aumenta de tamaño, no crece. Este es uno de los innumerables ejemplos de transferencia de energía. Si, para crecer, las plantas transforman la energía solar en energía química mediante la fotosíntesis; el hombre, mediante la respiración, realiza, por así decirlo, el recorrido inverso: utiliza la energía química para poder vivir, moverse y trabajar. Las plantas proporcionan una madera que el hombre aprovecha, quemándola y obteniendo energía térmica, que a su vez puede transformarse en energía cinética. Todas estas formas de energía tienen un nombre y en el esquema superior de la página anterior pueden verse seis de ellas, cada una de las cuales puede subdividirse en otras. En el histograma superior se indica el consumo de algunos tipos de energía en relación con distintos tipos de sociedades humanas. Como puede observarse a primera vista, la sociedad actual es la mayor consumidora de energía.

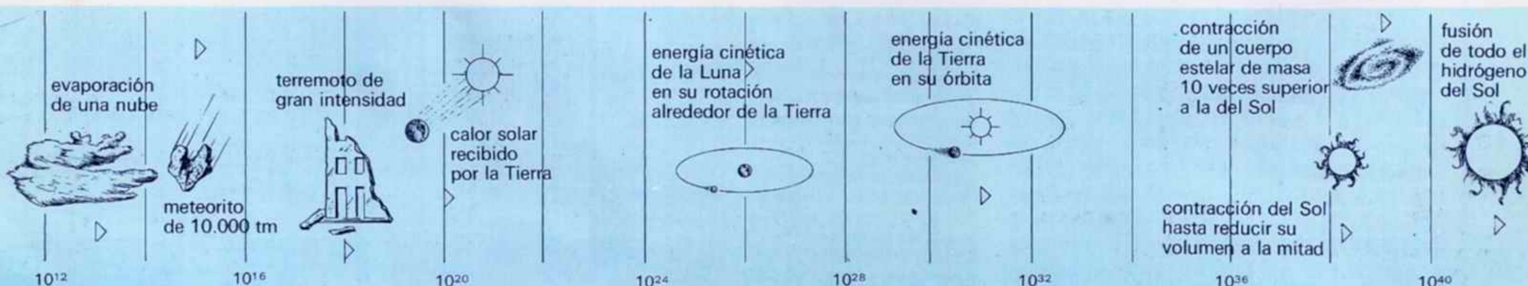
da a través del agua desde el hogar donde ha sido calentada, generalmente mediante la combustión de carbón o de un derivado del petróleo. Al arder, estas sustancias liberan *energía química*.

La batería de un automóvil suministra *energía eléctrica* como resultado de una transformación química de las sustancias que contiene en su interior. Gran parte de la energía primaria utilizada por el hombre proviene de reacciones químicas o nucleares.

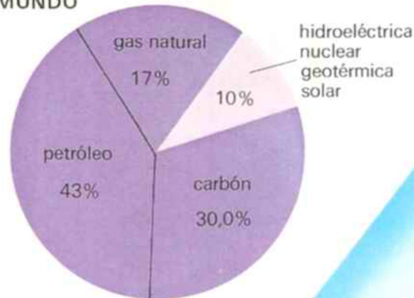
Pero la energía primaria más importante es la *luminosa*, que nos llega desde el Sol juntamente con radiaciones caloríficas. En efecto: interviene en la fotosíntesis de las plantas verdes; hace posible el desarrollo de las algas y el plancton marinos; intervino en su día en la formación de las reservas de carbón y petróleo; hace posible otros procesos bioquímicos y químicos de capital importancia.

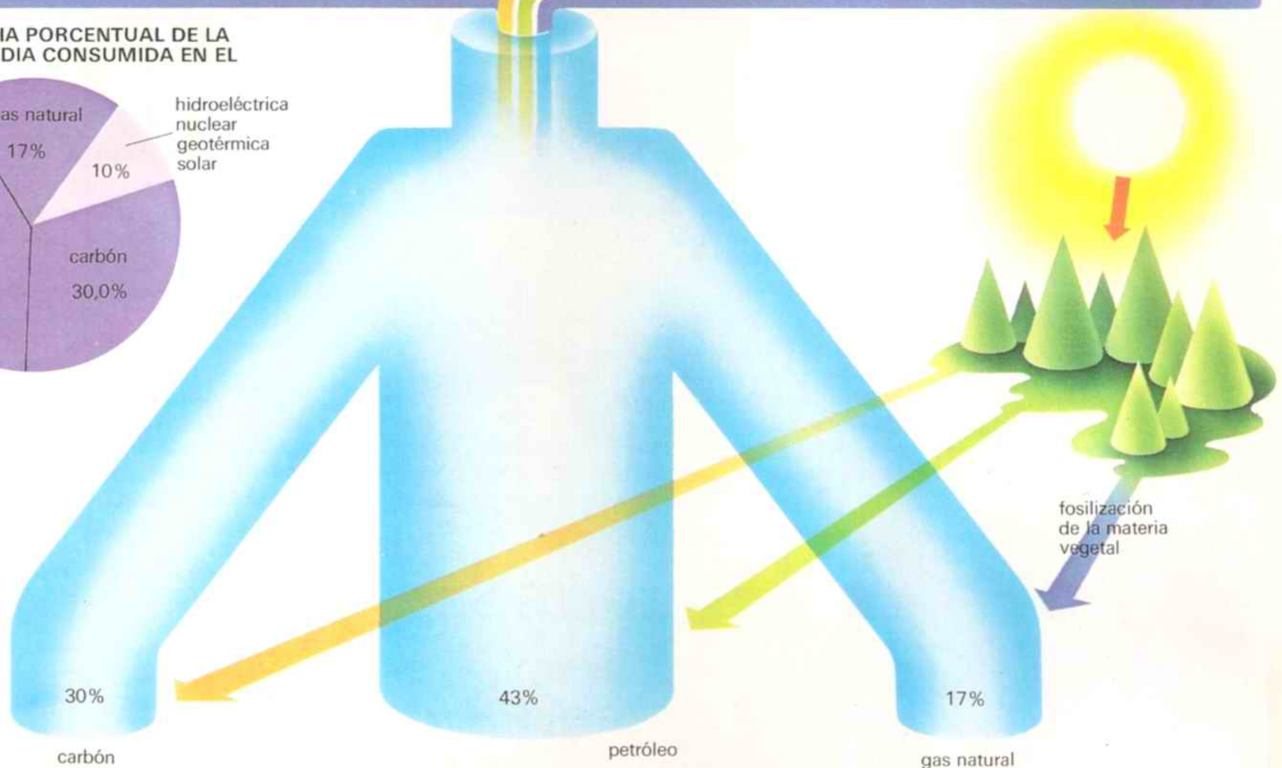
Las reacciones nucleares de fisión liberan una gran cantidad de *energía nuclear*, transformada posteriormente en otro tipo de energía.

**Transformación de las formas de energía** Sin duda, la característica más destacada de la energía es su posibilidad de transformación de una forma en otra. Es precisamente esta propiedad lo que permite conocer la calidad del tipo de energía. Porque hay calidad de energía: una








energía es de alta calidad si puede transformarse con buen rendimiento en otro tipo de energía.

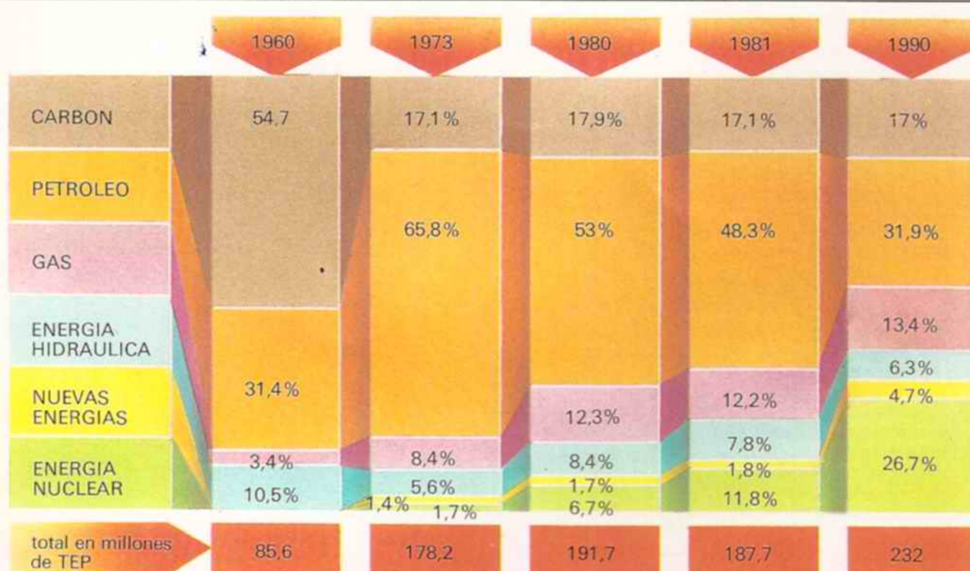
La energía potencial del agua embalsada es de buena calidad. Se convierte primeramente en cinética, después en trabajo mecánico y por fin en energía eléctrica. La propia energía eléctrica también es de gran calidad porque puede transformarse con buen rendimiento en energía mecánica (motores industriales y aparatos electrodomésticos), energía luminosa, energía química (electrólisis) y energía térmica (calefacción).

Energía de inferior calidad es la térmica, ya que la conversión en otro tipo de energía se realiza solamente en condiciones especiales y su rendimiento es bajo.

Si se observan fenómenos físicos en los que hay transformación espontánea de energía, se aprecia que ésta tiene la tendencia a descender de calidad. En todo proceso espontáneo, físico o químico, la energía tiende a degradarse. Por ejemplo, la energía del agua en un río de alta montaña puede ser utilizada ventajosamente.

Equipos industriales, maquinaria agrícola, equipos de calefacción y de iluminación, combustibles para medios de transporte: grandes cantidades de energía son utilizadas para las más variadas actividades humanas. Aproximadamente el 90% del total de la energía utilizada se obtiene quemando combustibles fósiles, es decir, liberando por combustión la energía química que encierran, motor primario del que depende casi totalmente la existencia diaria del hombre del siglo XX. A la derecha, consumos energéticos por sector previstos para el año 1990; en la página siguiente, arriba, consumo de energía según las distintas fuentes energéticas y previsiones para el mismo año.

| | 1973 | 1981 | 1990 |
|---|---|---|---|
| INDUSTRIA | 34,5% | 32% | 35% |
| VIVIENDA COMERCIO INDUSTRIA | 33% | 33% | 33% |
| AGRICULTURA | 1,6% | 1,5% | 1,4% |
| TRANSPORTE | 17,9% | 19,5% | 18,9% |
| PRODUCTORES DE ENERGIA | 13% | 14% | 11,7% |
| total en millones de TEP | 178,2 | 187,7 | 232 |




TEP = Toneladas equivalentes de petróleo

Sin embargo, en el descenso la energía del agua va degradándose porque se transforma en calor, de muy difícil aprovechamiento.

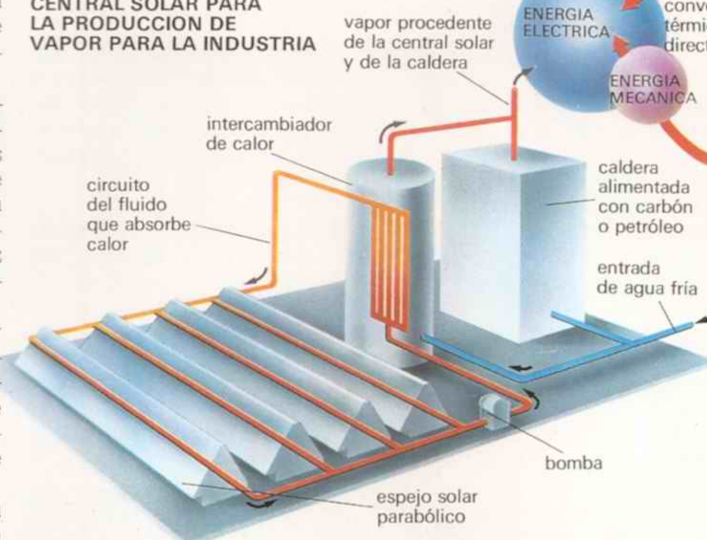
En Física la calidad de la energía puede valorarse mediante una magnitud termodinámica, la *entropía*. Cuanto mayor es la entropía menor es la posibilidad de transformar un tipo de energía en otro. En los procesos espontáneos la entropía aumenta y la energía se transforma cada vez en formas menos utilizables y más degradadas.

En cualquier caso, siempre que hay transformación de energía su cuantía permanece constante. Al hacer una valoración de la cantidad de energía inicial y de la suma de las distintas formas de energías finales en una transformación dada, se constata su equivalencia.

El principio de conservación de la energía es cierto cuando se tienen en cuenta todas las formas de energía que intervienen en la transformación. Pero, lamentablemente, cuando se pretende convertir una forma en otra determinada, hay una gran pérdida de rendimiento, precisamente por la aparición de formas de energía no deseadas. En algunos casos la transformación representa un verdadero despilfarro de energía. Por ejemplo, para obtener 1.000 calorías en una estufa eléctrica la central térmica suministradora ha tenido que gastar el combustible equivalente a 3.000 calorías.

**Energía para el hombre** La base de la civilización tecnológica del hombre ha sido y seguirá siendo la energía. El hombre es un consumidor de energía en las distintas formas en que ésta se presenta; el desarrollo de la Humanidad corre parejo con las cotas de energía consumida.

Son muy diversas las fuentes de energía utilizadas en la actualidad. El criterio general seguido para valorar esas fuentes es el de la misma calidad de la energía: que puedan obtenerse de las mismas formas de energía útiles.




A la izquierda, esquema de una central de energía solar para la producción de vapor en la industria. En este caso la energía solar es captada mediante espejos parabólicos que concentran los rayos solares.

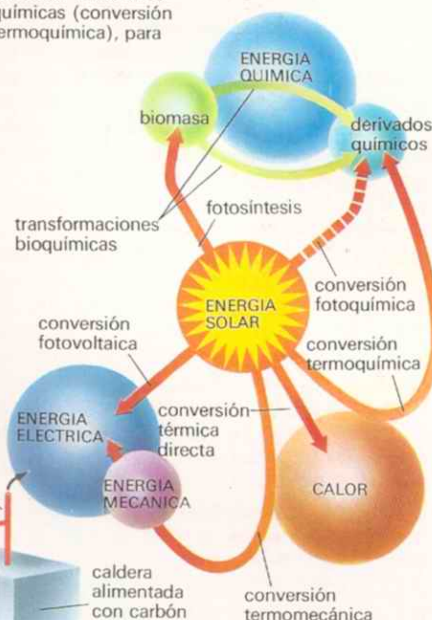
Además, el hombre tiene en cuenta los siguientes aspectos en la valoración de las fuentes de energía: la disponibilidad y el coste económico; su fácil transporte; si son fuentes renovables o no renovables. Fuentes de energía renovable son el Sol y el agua embalsada, por ejemplo; por el contrario, el petróleo, el carbón y el uranio son no renovables.

Considerando los factores expuestos y otros de naturaleza económica y política, el hombre y los distintos países eligen unas fuentes y abandonan otras.

**La energía y su transporte** Conviene distinguir entre fuente de energía y su sistema de transporte. Por ejemplo, se habla de energía eléctrica, pero esta forma de energía es sólo un paso intermedio en un sistema energético, para efectuar el transporte hasta el punto de utilización. Así, la energía eléctrica puede ser producida en las centrales térmicas mediante la combustión del carbón y derivados del petróleo, proceso en el que al liberarse calor se obtiene vapor de agua; el vapor mueve las turbinas y éstas a su vez el alternador que genera energía eléctrica. La energía en forma de electricidad se transporta fácilmente a los puntos de utilización. Igualmente su fácil conversión en otros tipos de energía hace de la electricidad la energía más idónea para múltiples usos.

En algunos casos la misma fuente primaria, por ejemplo el petróleo, suministra el sistema de transporte. En los vehículos de motor la fuente de energía es la gasolina, que es fácilmente distribuida y que produce energía mecánica por medio del motor de explosión. Otro aspecto a considerar es el transporte a grandes distancias: las redes de oleoductos y los grandes petroleros facilitan el transporte del petróleo en contraposición con la mayor dificultad en el transporte del carbón. En un futuro no lejano, otros combustibles, como el metano, irán desplazando al petróleo por ser más fácil su utilización y, sobre todo, su transporte y distribución por medio de gaseoductos.

Abajo, esquema de las principales formas finales de energía en que puede ser transformada la energía solar. Se puede obtener calor para calefacción (conversión térmica directa) o para favorecer reacciones químicas (conversión termoquímica), para accionar las turbinas de generadores eléctricos (conversión termomecánica); incluso se puede obtener electricidad mediante células solares (conversión fotovoltaica).




**La renovación de la energía** Carbón y petróleo tienen un origen biológico remoto. El carbón tiene su origen en los bos-

ques que cubrían parte de la superficie de la Tierra hace millones de años, mientras que el petróleo inició su formación, hace también millones de años, por acumulación de microorganismos que constituían el plancton marino. Aunque el proceso de formación de ambos continúa actualmente, el ritmo de extracción es mucho mayor que el de formación, por lo que las reservas mundiales tienden a extinguirse.

En contraposición con estas fuentes energéticas, existen otras, como el viento, el Sol y el movimiento de las aguas superficiales, que son renovables. No existen acumulaciones de este tipo de energía, por lo que puede ser aprovechada sólo en la medida en que es producida por los sistemas naturales.

La disponibilidad de materiales fisionables, como el uranio, para el funcionamiento de los reactores nucleares es hoy de gran importancia, teniendo en cuenta el ritmo de consumo actual de energía por parte de la Humanidad. Un paso decisivo se dará el día en que se logre controlar la energía liberada en las reacciones termonucleares o de fusión.

**Energía y ambiente** La producción de grandes cantidades de energía plantea siempre graves problemas para el medio ambiente. Por ejemplo, la combustión del petróleo descarga en la atmósfera dióxido de carbono y dióxido de azufre, grandes cantidades de partículas de polvo, muchas escorias difíciles de reciclar e ingentes cantidades de sustancias radiactivas (el carbón absorbe, a lo largo de su historia geológica, muchos núcleos dotados de elevada radiactividad).

Las instalaciones de captación para energía hidroeléctrica, si no son cuidadosamente programadas, pueden provocar ciertos peligros para la fauna y sustraer durante largos recorridos las aguas superficiales para uso agrícola (en otros casos pueden favorecer la agricultura al ser reservas adecuadas para el riego).

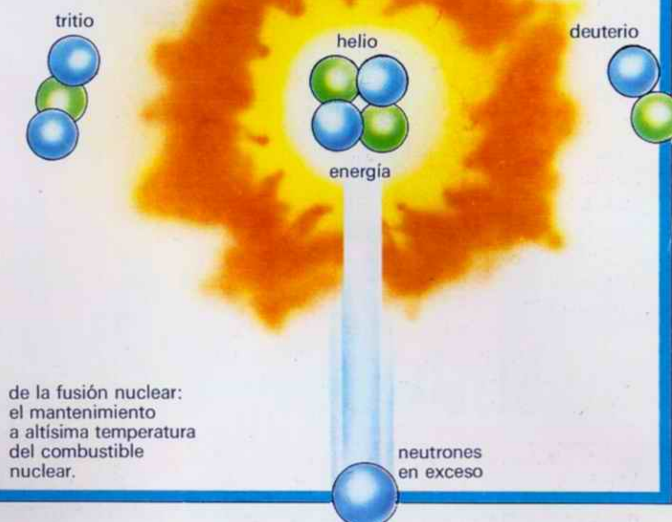
Las instalaciones nucleares plantean el problema de la eliminación de los residuos radiactivos a largo plazo.

Finalmente, todos los sistemas de generación de energía eléctrica que se realizan a través del ciclo térmico (es decir, que queman combustibles o que aprovechan la fisión del uranio), por razones termodinámicas, pueden transformar energía eléctrica sólo entre un tercio y dos quintos del calor producido; el resto pasa al ambiente, donde puede producir alteraciones locales del medio ambiente.

Actualmente el empleo de combustibles de toda clase ha hecho crecer el porcentaje de dióxido de carbono en la atmósfera, hasta tal punto que se habla de la posibilidad de aparición de una nueva época interglacial tórrida, ya que el dióxido de carbono deja pasar la luz solar que calienta el planeta, pero dificulta la salida de la radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra calentada y no permite su enfriamiento (efecto invernadero). No obstante, los humos ligeros lanzados a la atmósfera reflejan la luz del sol provocando una disminución de la temperatura del planeta, lo que compensa el efecto del dióxido de carbono. No se puede predecir cuál de los dos efectos prevalecerá sobre el otro.

**LA FUSION NUCLEAR**

Por fusión nuclear se entiende el proceso de unión de dos núcleos ligeros para obtener un núcleo más pesado. Por ejemplo, la unión del deuterio y del tritio da lugar a un núcleo más pesado de helio. En el proceso de formación del elemento más pesado se pierde una parte de materia que se transforma en energía. Los experimentos realizados hasta ahora han dado resultados esperanzadores y se confía en poder resolver algún día el problema más difícil del proceso de la fusión nuclear: el mantenimiento a altísima temperatura del combustible nuclear.




**La energía en el Universo** Parece ser que el origen del Universo fue una gran concentración de energía, que al principio estaba disponible sólo bajo forma de radiación. La rápida expansión del Universo ha hecho que esa energía se haya ido degradando progresivamente, transformándose en su forma más común, propiciada por la baja temperatura: la *materia*. La Teoría de la Relatividad establece que hay equivalencia entre masa y energía, según la famosa relación: $E = mc^2$, donde $E$ representa la energía, $m$ representa la masa y $c$ la velocidad de la luz. La gran velocidad de expansión de la esfera en la que estaba concentrado el Universo inicial le ha llevado a su actual grandiosa dimensión. En el Universo actual existen dos fuentes energéticas: la primera es la suministrada por el hidrógeno que, cuando se concentra en las estrellas, sufre una reacción de fusión termonuclear produciendo helio y energía. La segunda es la energía potencial alcanzada por la materia que se ha alejado, dispersándose por el espacio.



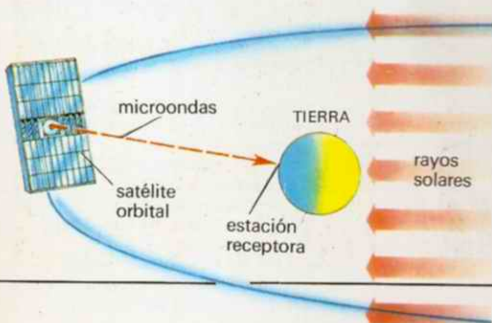
En una galaxia, si la materia se precipitase en el núcleo, liberaría enormes cantidades de energía, comparables a las que se obtendrían si todo el hidrógeno que contiene se transformase en helio.

Además, mediante mecanismos todavía desconocidos, en el Universo la energía puede concentrarse muchísimo. Por ejemplo, algunas partículas de radiación cósmica, como los protones o núcleos pesados, pueden desplazarse en el espacio con energías miles de millones de veces superiores a las que han sido necesarias para producir, con la materialización, su masa. La Humanidad tiene por lo tanto mucho camino por recorrer todavía antes de llegar no sólo a utilizar, sino también a comprender, la naturaleza y el movimiento de la energía que se produce en la Tierra y en los astros.

Véase **Atmósfera; Bioenergética; Carbón; Cosmología; Efecto invernadero; Energía, ahorro de; Energía, fuentes de; Energía eólica; Energía geotérmica; Energía maremotriz; Energía solar; Fisión nuclear; Fusión nuclear; Gasolina; Petróleo**

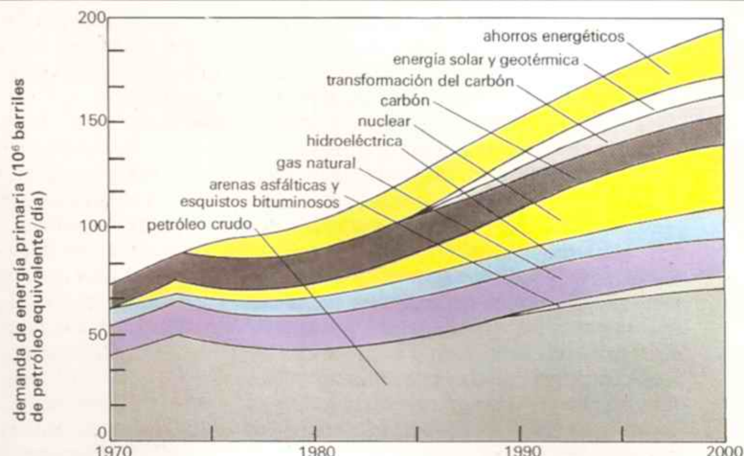
El espacio es atravesado por un flujo ininterrumpido de energía solar de la que únicamente una pequeña parte llega a la Tierra. Un ambicioso proyecto (a la derecha, una construcción hipotética y abajo su funcionamiento) consiste en transformar la luz del Sol en energía eléctrica y convertirla en una forma de radiación (microondas) que puede alcanzar, sin interrupción, una estación receptora terrestre. De aquí surge la idea de construir centrales solares en órbita terrestre, formadas por paneles de algunos kilómetros cuadrados de extensión y recubiertos de células fotovoltaicas. A la izquierda, Galaxia de Andrómeda.

PROYECTO PARA UNA CENTRAL SOLAR ESPACIAL



# Energía, ahorro de

Las repercusiones que tuvieron en los países consumidores, la disminución del suministro de petróleo y el aumento de los precios derivados de la llamada *crisis de la energía* fueron muy distintas de unos a otros. De los países industrializados, aquéllos que tenían producción propia, como Estados Unidos, Canadá y los países del bloque socialista, prácticamente no notaron los momentos más críticos, ya que, si bien —como en el caso de Estados Unidos— parte del petróleo que consumían provenía de los países árabes, sus reservas eran más que suficientes. Japón y los países de Europa Occidental, por el contrario, acusaron la reducción en el abastecimiento. Estos países, que poseen, en general, un alto grado de industrialización, consumen gran cantidad de petróleo, que reciben prácticamente en su totalidad de los países de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo). Sin embargo, su alto grado de industrialización les proporciona unos ingresos por exportaciones que les permite afrontar la crisis con cierta tranquilidad, pues poseen suficientes recursos monetarios para pagar el petróleo necesario al precio que sea, con tal de que sus industrias sigan funcionando. Dada su situación, la principal medida que tomaron de forma inmediata los gobiernos de estos países fue la de restringir el consumo de productos petrolíferos no destinados a usos industriales. Los gobiernos de Japón y de los países de Europa Occidental dictaron, a este fin, disposiciones que limitaban la velocidad de los automóviles —incluso se prohibía su circulación durante algunos días de la semana—, establecían normas para mantener los sistemas de calefacción a unos niveles de temperatura más bien bajos y prohibían o disminuían las iluminaciones nocturnas de edificios y calles, al mismo tiempo que se hacían llamamientos a los ciudadanos para que moderasen voluntariamente su consumo energético. Aunque el ahorro conseguido con este tipo de medidas fue mínimo, las molestias causadas condujeron a crear en la población un cierto grado de mentalización y preocupación por el problema energético, a la vez que se lograba mantener el ritmo de crecimiento industrial a un nivel aceptable.




El esquema central de esta página nos muestra algunas de las modalidades con que se obtendrían sensibles ahorros de energía. Se ve la importancia de la utilización de fuentes energéticas alternativas y sobre todo renovables. El límite mayor está constituido, a pesar de todo, por los costes de utilización, que, para estas soluciones, permanecen aún demasiado altos. Aquí, a la derecha, expansión de la demanda mundial de energía primaria.

FUENTES ENERGETICAS RENOVABLES (ALTERNATIVAS)

- energía solar
- energía geotérmica
- energía eólica
- energía mareomotriz

FUENTES ENERGETICAS EXTINGUIBLES

- petróleo
- carbón
- uranio
- gas natural

se obtienen AHORROS ENERGETICOS gracias a

— sistemas más eficaces para la búsqueda de fuentes (ejemplo: yacimientos profundos)

— métodos más eficaces para la transformación de energía en trabajo (ejemplo: reciclaje, regeneración)

— sistemas para evitar aplicaciones ineficaces (ejemplo: aislamiento de habitaciones, calefacción programada, coordinación de varios generadores para hacer frente a una demanda diferenciada, uso de energías alternativas).

La mayoría de los países han constituido organismos para el estudio del problema energético y para coordinar las medidas que convenga aplicar. Estos organismos confeccionan folletos que ponen a disposición de todos los ciudadanos. De algunos de esos folletos se han recogido las siguientes recomendaciones:

- *No deje entrar aire frío* Cuando en una vivienda entra aire frío, se originan importantes pérdidas de calor. Estas pérdidas pueden evitarse si se mantienen bien cerradas puertas y ventanas, utilizando además burletes para taponar las rendijas.
- *¡Cuidado con las cortinas!* Si en una habitación hay un radiador debajo de una ventana y ésta tiene cortinas que lo cubren, descórralas cuando el radiador esté caliente. Si no lo hace, dificultará que el calor pase a la habitación. Cuando el radiador esté frío, corra las cortinas: ayudarán a disminuir las pérdidas de calor a través de la ventana.
- *Las persianas pueden ayudar a ahorrar energía* Levante las persianas de las habitaciones cuando esté dando el sol: dejará entrar energía que no le cuesta nada y ahorrará combustible. Cuando el sol se ponga, baje las persianas. Establecerá una barrera entre el exterior y los cristales que evitará pérdidas de calor y ayudará a mantener la temperatura de la habitación.
- *Cuidado con la pintura del radiador* Una capa espesa de pintura en el radiador contribuye a que pase a la habitación menos calor que el debido. También produce el mismo efecto recubrir los radiadores mediante muebles de adorno.
- *Ventilación* Basta con diez minutos al día. Este tiempo es suficiente para renovar el aire de una habitación. Lo lógico es encender la calefacción después de haber ventilado la casa.
- *Vístase de la forma adecuada.* No debería pretender llevar todo el año dentro de su casa un atuendo veraniego. Una temperatura interior elevada es poco recomendable para la salud. Se considera que 20 °C supone un nivel confortable de temperatura para el cuerpo humano. Rebasar la temperatura interior de 20 °C supone un costo complementario de energía del 5% por cada grado de más.
- *Para las zonas secas* En determinadas zonas, la calefacción origina una atmósfera muy seca en el interior de las viviendas, lo que acelera la evaporación de la humedad corporal, provocando una sensación de frío. Ello se evita colocando recipientes con agua en los radiadores. La evaporación del agua aumenta la humedad del aire y proporciona el mismo grado de confort con una temperatura más baja.

Los consejos anteriores, válidos para el ahorro a nivel doméstico, se complementan con otros dirigidos a los usuarios de automóviles, recogidos de forma muy sucinta:

- Conduzca a velocidad moderada y constante.
- Evite los arranques rápidos y los frenazos bruscos.
- Ponga el coche a punto con regularidad.
- Apague el motor en las paradas prolongadas.
- Revise la presión de los neumáticos.
- Utilice neumáticos radiales.
- No caliente el motor con el coche parado.
- Mantenga las ventanillas cerradas cuando circule a alta velocidad.
- No utilice el aire acondicionado si no es necesario.
- Vigile los filtros de aire y aceite.
- Asegúrese de que el termostato funciona.
- Cuando quite el contacto, no acelere.
- No llene el depósito hasta los topes.
- No "pase de vueltas" el motor de su coche.
- No abuse del portaequipajes.
- Evite ir a la esquina de su calle en coche.
- ¿Tiene vecinos que trabajen en la misma zona que usted? ¿A qué esperan para ponerse de acuerdo y viajar juntos?

En los países subdesarrollados y en los en vías de desarrollo, las repercusiones fueron diferentes. El consumo en estos países era mucho menor, pero el uso dado al petróleo era también muy diferente, al precisar la energía para despegar económicamente y lograr un desarrollo industrial que acortase su enorme retraso respecto a los países industrializados. Por eso, una disminución en el abastecimiento de petróleo suponía para ellos un frenazo en su incipiente implantación industrial. Al mismo tiempo, el alza de los precios les obligó a recurrir a préstamos que agravaron su nivel de endeudamiento, haciendo mayor aún la distancia que existía antes de la crisis entre estos países y los más desarrollados.

Sin embargo, la crisis de 1973 terminaría por afectar a todos los países y a la estructura económica mundial en general. En este sentido puede afirmarse que supuso una conmoción tal que llevó a muchos países a adoptar medidas a más largo plazo.

**¿Una crisis coyuntural?** Los gobiernos de los diferentes países comprendieron de inmediato que el problema energético no era una crisis coyuntural debida a unos hechos transitorios, como podían parecer a primera vista los sucedidos en 1973, sino que se trataba de un problema crónico que necesitaba un planteamiento a medio y largo plazo si se quería algún día resurgir tras el retraimiento económico provocado. En consecuencia, cada país estableció un conjunto de estrategias, planes y objetivos que formaban su *Plan Energético*. Evidentemente, estos planes variaban de unos países a otros, pero, en general, coincidían en una serie de puntos básicos:

- Elaboración de programas que permitiesen la reducción de las importaciones de petróleo mediante el ahorro de energía, la utilización de recursos propios y la sustitución del petróleo en ciertos procesos productivos por otros recursos energéticos.
- Elevación de las tarifas energéticas con el fin de forzar al ahorro y atender, con el excedente monetario derivado del incremento del precio, a la investigación y desarrollo de fuentes alternativas.
- Sustitución progresiva del petróleo como recurso básico para la producción de electricidad.
- Reactivación de la extracción y consumo de carbón.
- Activación de la construcción de centrales nucleares para la producción de electricidad, siempre teniendo en cuenta los problemas ecológicos y de seguridad que tal tipo de industrias puede acarrear.
- Reforzamiento de programas de investigación destinados a conseguir métodos para un mayor y más racional aprovechamiento energético. Por otra parte, acciones de mentalización colectiva en relación con este tema.

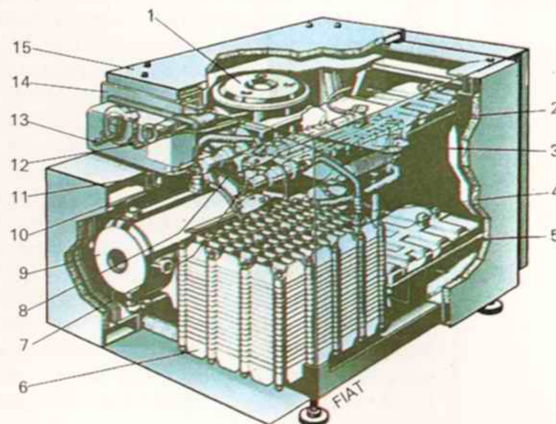
Además de los Planes Energéticos, los países industrializados se unieron para crear organismos a nivel supranacional, como la *Agencia Internacional de la Energía*, cuyo objetivo fundamental era promover la seguridad en el abastecimiento de petróleo, llegando a crear un "fondo energético" que se repartiría equitativamente entre todos los países en caso de restricción, al tiempo que se decidió establecer contacto directo con los productores.

De cualquier forma, los planes energéticos no tienen asegurado el cumplimiento, ya que, por una parte, difícilmente se puede convencer de que debe ahorrar a una población acostumbrada al derroche, y, por otra parte, algunas energías consideradas como soluciones encuentran obstáculos serios para su desarrollo.

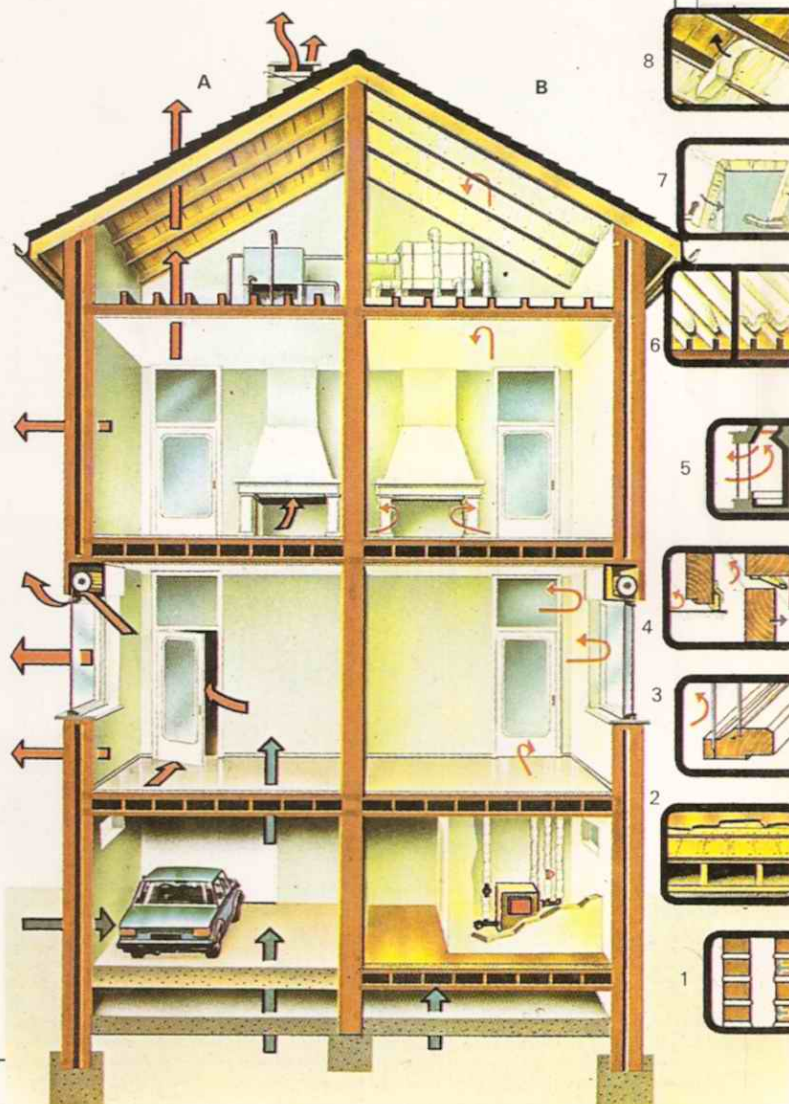
Los planes energéticos, por alto que sea su grado de elaboración, y por acertadas que resulten las medidas concretas que recomienden, servirán de bastante poco si el consumidor final de la energía, aun consciente del problema —sobre todo porque las enormes subidas de los precios de la energía le imposibilitan el continuar con sus hábitos de derroche— ignora qué puede hacer en la práctica para contribuir a la solución de la crisis.

Véase **Aislantes térmicos; Petróleo; Termodinámica**

**PROYECTO DE MOTOR PARA CALEFACCION DOMESTICA**




El motor (1) genera calor que es recogido por un circuito cerrado constituido por intercambiadores de calor gas de descarga/agua (3), aceite/agua (4). Este calor es cedido mediante el intercambiador agua/agua (6) al circuito secundario. La potencia mecánica se transforma en energía eléctrica por un generador (9) y es cedida a una red (11). Un depósito de agua (2) y uno de aceite (5) aseguran largos intervalos de mantenimiento. Las conexiones con la red metano (13), la salida de humos (8) y la instalación de calefacción (entrada (10) y salida (7)) son de acoplamientos rápidos. Están también: el bastidor (14), las juntas (15) y la toma de aire (12).




En las casas se derrocha mucha energía a consecuencia de las pérdidas de calor. La casa A no tiene aislamiento y es calentada por una chimenea de carbón. En estas condiciones una parte del calor se escapa al exterior. La casa B tiene una eficaz instalación central de calefacción, situada en un ambiente con muros (1) y suelos (2) aislados. Las ventanas están dotadas de cristales dobles (3), el hueco de las persianas (4) está aislado. La chimenea está cerrada (5); el techo (6), el suelo y la tubería del agua (7) están revestidos con paneles de material aislante.

# Energía, fuentes de

Ya en la Edad de Piedra, el hombre conocía, utilizaba y controlaba el fuego, la primera forma de energía térmica empleada. Los primeros mil años de nuestra era no contemplan la introducción de nuevas fuentes de energía; será necesario esperar que transcurran los siglos de la Edad Moderna para que el hombre halle una máquina que le libere paulatinamente de tener que modificar la Naturaleza y sobrevivir a base de su esfuerzo muscular y del de los animales.

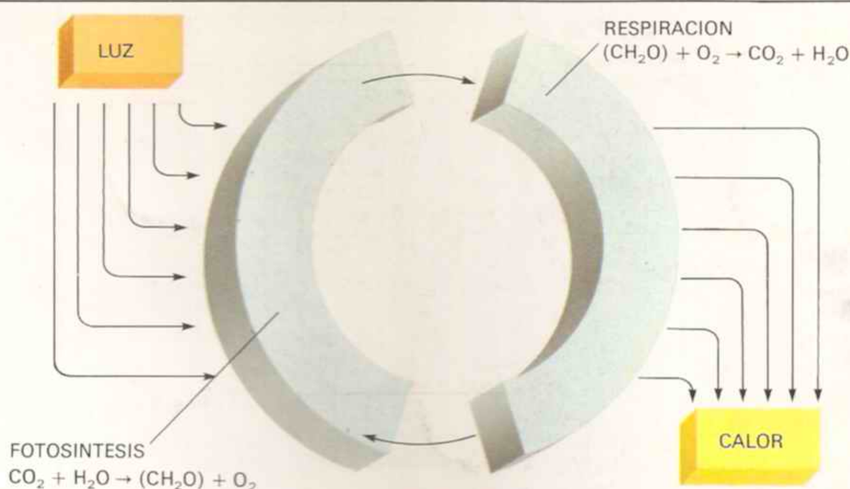
Con el nacimiento de la moderna civilización industrial, ocurrido en el siglo XVIII, el hombre ha tenido que recurrir a otras fuentes de energía. La invención de la máquina de vapor, construida por el escocés James Watt, supuso una verdadera revolución, pues, por primera vez en su historia, el hombre podía obtener la energía mecánica que precisaba no a partir de un animal de tiro, sino de una máquina que sólo consumía carbón. La máquina de vapor suponía también un reto para los científicos, que vieron la posibilidad de convertir una forma de energía en otra.

**Combustibles fósiles** Los combustibles fósiles (el carbón, el gas natural y el petróleo y sus derivados) tienen su origen en los restos de plantas y animales existentes hace millones de años. Con el paso del tiempo, estos restos fueron cubiertos por estratos de fango y arena, soportando enormes presiones y temperaturas que transformaron el material orgánico en material combustible.

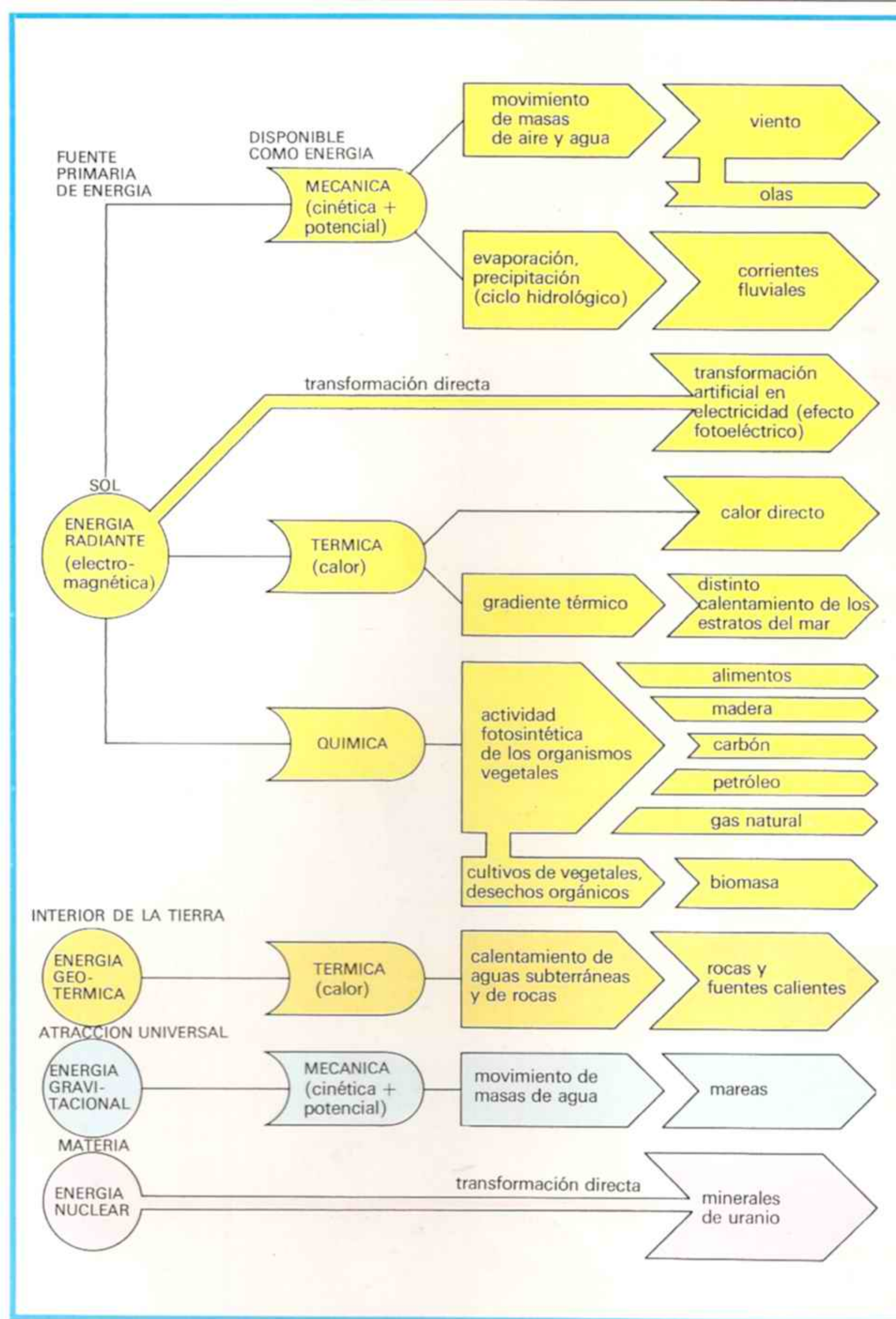
Los combustibles fósiles se encuentran casi siempre bajo tierra a profundidades que oscilan entre 1 m y varios km, lo que dificulta su explotación. El equipo necesario para hacer perforaciones petrolíferas o para extraer gas natural es muy costoso. La extracción del carbón entraña, además, numerosos riesgos; no sólo existe el peligro de derrumbamientos, inundaciones o explosiones (causadas por el hecho de que el polvo de carbón es muy inflamable), sino que, además, las partículas de este mineral se acumulan en los pulmones de los mineros causándoles una en-

| | SOL | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Viento | | | Olas | Corrientes fluviales | | Gradiente térmico | Calor directo | Efecto fotoeléctrico |
| | molino de viento | generador eólico | barco de vela | generador eléctrico flotante accionado por el movimiento de las olas | molino de agua | central hidroeléctrica | central mareotérmica | colectores solares, central de espejos | central de células fotovoltaicas |
| ENERGIA TRANSFORMADA | | | | | | | | | |
| MECANICA | ● | ● | ● | | ● | | | | |
| ELECTRICA | | ● | | ● | | ● | ● | ● | ● |
| TERMICA | | | | | | | | ● | |

La luz solar permite que se desarrollen los procesos metabólicos fundamentales para la supervivencia de los seres vivos: la fotosíntesis y la respiración (esquema de la derecha). La fotosíntesis consiste en un conjunto de reacciones que permiten la síntesis de materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas, gracias a la transformación de la energía luminosa del Sol en energía química. Como resultado se obtienen productos orgánicos y oxígeno a partir de dióxido de carbono y de agua. La respiración es un fenómeno biológico de tipo oxidativo, que tiene como efecto la producción de energía utilizable metabólicamente. En los organismos aeróbicos va acompañada de consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono. En el cuadro de abajo se representan los distintos tipos de energía actualmente disponibles y sus diferentes formas de transformación.




| | | | | INTERIOR DE LA TIERRA | ATRACCION UNIVERSAL | MATERIA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Alimentos** | **Madera** | **Petróleo, Carbón, Gas natural** | **Biomasa** | **Rocas y fuentes calientes** | **Mareas** | **Uranio** | **Deuterio** |
| transformación en energía | combustión de la madera | motores térmicos, centrales térmicas, calefacción de los edificios | transformación química de vegetales, desechos orgánicos, etc. en combustibles | central geotérmica | central maremotriz | central de fisión nuclear | fusión nuclear (en proyecto) |




fermedad llamada *antracosis*. La antracosis (o tisis de los mineros) es una enfermedad incurable, que generalmente va acompañada por bronquitis crónica, asma, enfisema y neumoconiosis. Los efectos negativos sobre el ambiente provocados por los combustibles fósiles están ligados tanto a su extracción como a su utilización. Las diferentes fases de la producción del petróleo están sujetas a pérdidas, incendios y dispersiones, mientras que la extracción del carbón destruye el terreno y la vegetación y afecta a los cursos de agua, a lo que se añade la gran cantidad de sustancias contaminantes que se liberan en el aire cuando se queman los combustibles fósiles. Además, estos combustibles no son renovables: mientras que los depósitos explotables de carbón, si se mantiene la actual tasa de consumo, todavía durarán centenares de años, se prevé que las reservas de petróleo disminuirán en cuestión de pocos decenios.

**Combustibles obtenidos de la biomasa** Los combustibles fósiles se han formado a partir de los residuos animales y vegetales que han sufrido una serie de procesos químicos y geológicos durante millones de años. Sin embargo, algunos tipos de sustancias vivas se pueden transformar en combustibles sin necesidad de la fosilización. Se trata de combustibles obtenidos a partir de la *biomasa* (término utilizado para indicar la materia orgánica no fosilizada). La madera es el combustible más antiguo y conocido obtenido de la biomasa y cubre alrededor del 10% de las necesidades energéticas mundiales.

La madera puede utilizarse como combustible quemándola directamente, mientras que otros tipos de material obtenidos de la biomasa han de ser sometidos a procesos especiales. El etano (etilo o alcohol etílico) se obtiene a partir de la fermentación de cereales como el maíz o el trigo. Algunos desechos orgánicos combinados con hidrógeno a temperatura y presión elevadas pueden transformarse en combustibles: es el proceso conocido con el nombre de *hidrogasificación*, por medio del cual se obtienen hoy industrialmente combustibles gaseosos como el metano y el etano.

Cuando se queman los combustibles obtenidos a partir de la biomasa, como ocurre con cualquier proceso de combustión, se produce también contaminación del aire. Sin embargo, los combustibles obtenidos a partir de la biomasa son renovables y accesibles, y constituyen una alternativa poco costosa, y digna de tener en cuenta, al petróleo para satisfacer demandas energéticas a pequeña escala.

**Energía geotérmica** A medida que se profundiza en el interior de la Tierra, el calor aumenta. Este incremento, conocido como *gradiente geotérmico*, es del orden de 1 °C por cada 30 ó 35 metros de profundidad. La utilización de la energía geotérmica consiste sencillamente en efectuar sondeos suficientemente profundos que alcancen zonas de temperatura elevada, y de aprovechar su energía térmica. Las centrales eléctricas que aprovechan energía de origen geotérmico se hallan enclavadas en zonas de vulcanismo secundario, donde el agua caliente o el vapor afloran a la superficie (*géyser*) o se encuentran a escasa profundidad. Sin embargo, en las regiones no volcánicas, el aprovechamiento de la energía geotérmica choca con el inconveniente de los elevados costos de perforación.

**Agua y viento** Tanto el agua como el viento son fuentes energéticas renovables y, excepto en el caso de los embalses, su utilización tiene una influencia negativa mínima sobre el medio ambiente circundante. Las presas hidroeléctricas utilizan la energía del agua que desciende por gravedad desde un nivel más alto a otro más bajo, de modo que pasa por una turbina que impulsa un generador de electricidad. También se han hecho intentos para utilizar con idéntica finalidad las subidas y bajadas del nivel de las mareas, pero hasta ahora únicamente se ha construido una central de este tipo que funciona a nivel comercial y cuya producción media es muy inferior a la de las grandes centrales eléctricas. El intento de aprovechar el movimiento de las olas ha tenido todavía menos éxito.

La utilización del viento para producir energía requiere gran número de molinos de viento, provistos de múltiples aspas. Disponiendo de un menor número de hojas, aumentando su tamaño y la altura de la torre, se pueden alcanzar velocidades de giro considerables y la energía producida con fuertes vientos puede llegar hasta 1 kW por molino.

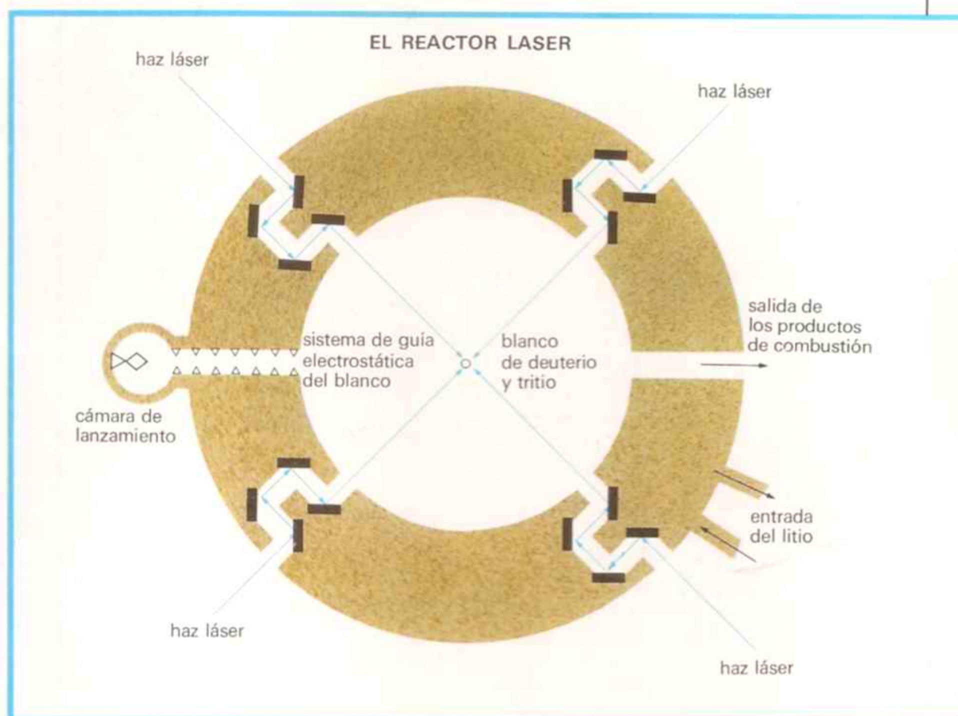
**Energía nuclear** La energía nuclear constituye la fuente energética que suscita mayor polémica en la actualidad. Los reactores nucleares utilizan combustibles radiactivos (uranio 235) que producen, mediante fisión, el calor necesario para generar electricidad. Sin embargo, esta fuente energética presenta un grave inconveniente: la gran cantidad de residuos radiactivos que se generan. Esto, unido al potencial peligro de la radiactividad emitida durante el proceso de fisión y en el transporte de los elementos combustibles, ha dado lugar a que sectores de población cada vez más amplios se hayan convertido en detractores de las centrales nucleares. En contraposición, los partidarios de la opción nuclear basan su postura en tres aspectos fundamentales: primero, que dada la actual crisis, la energía nuclear resulta imprescindible, ya que es la única fuente suficientemente desarrollada para poder sustituir progresivamente al petróleo en un corto espacio de tiempo; segundo, que las centrales son estadísticamente seguras; y por último, los defensores de la opción nuclear argumentan que la energía eléctrica de origen nuclear se obtiene a un precio tan bajo, que volvería la época de la energía abundante y barata. En cualquier caso, las opiniones se hallan tan divididas que algunos países, antes de instalar centrales nucleares, han optado por consultarlo mediante referéndum y decidir así la postura a adoptar.

Obviamente sólo una parte de la energía emitida por el Sol es interceptada por la Tierra, y, además, de ésta sólo una parte llega a la superficie y, por si fuera poco, con una distribución que varía para cada latitud y estación.

La energía total irradiada por el Sol se evalúa en cerca de $4 \times 10^{20}$ MW, que corresponde a una emisión de 65 MW/m$^2$ por unidad de superficie solar.

Las fuentes energéticas conocidas más potentes del Universo —los *quasars*— son también las más lejanas. Su luminosidad es equivalente a la de 100 galaxias juntas, pero desde la Tierra su luz es tan débil que únicamente resulta posible localizarlas valiéndose de los más potentes telescopios.

Véase **Biomasa; Energía; Energía, recursos mundiales; Energía eléctrica, producción de; Energía eólica; Energía geotérmica; Energía maremotriz; Energía solar; Fisión nuclear; Fusión nuclear; Petróleo**




**Energía solar** El Sol es una fuente de energía mucho más potente que todas las mencionadas, y se encuentra en la base de todas ellas. El dirige la mayor parte de los procesos energéticos que ocurren sobre la Tierra. Su luz calienta la Tierra desde hace miles de millones de años y permitió y sigue permitiendo la vida de las plantas y animales de los que se obtienen los combustibles fósiles. Además de calentar la Tierra, el Sol provoca el viento y la lluvia que alimenta los cursos de agua. La energía solar es accesible y renovable. Además se trata de una energía limpia, ya que las potentes reacciones nucleares que la producen tienen lugar a una distancia no menor de 150 millones de kilómetros de la Tierra.

Si todavía son muchas las posibilidades no aprovechadas de obtener energía de las fuentes luminosas que son las estrellas lejanas, otras tantas son las posibilidades todavía no alcanzadas de obtener energía nuclear a disposición del hombre. En el recuadro que hay sobre estas líneas puede verse una ilustración, muy simplificada, de un tipo de reactor que podría facilitarlo: el reactor láser. El esquema de funcionamiento de este hipotético reactor consiste en una pastilla esférica de deuterio y tritio, sometida a un haz de rayos láser. El calor induce una microexplosión que activa la sucesiva reacción de fusión, de la que se obtiene un elemento más pesado y una enorme cantidad de energía. Todavía no existen rayos láser de estas características, pero está en fase de estudio un láser de haz múltiple como los utilizados en el reactor Shiva de los Estados Unidos.

# Energía, recursos mundiales

Paralelamente a la lista de las especies animales cuya supervivencia está en peligro, se podría confeccionar otra lista de las fuentes de energía cuyas reservas conocidas podrían abastecernos durante muy pocos decenios más si prosigue el actual ritmo de consumo. Dicha lista incluiría, en primer lugar, los combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas natural, que representan hoy en día el 97% de la energía consumida por los países industrializados. Los yacimientos de petróleo —el combustible más importante que utilizamos— actualmente en explotación se agotarán presumiblemente a principios del próximo siglo. Para cubrir las necesidades mundiales de energía en las próximas décadas, se prevé, además de la energía hidroeléctrica y nuclear, recurrir de forma creciente a otras formas de energía, como son la solar, la eólica y la marina.

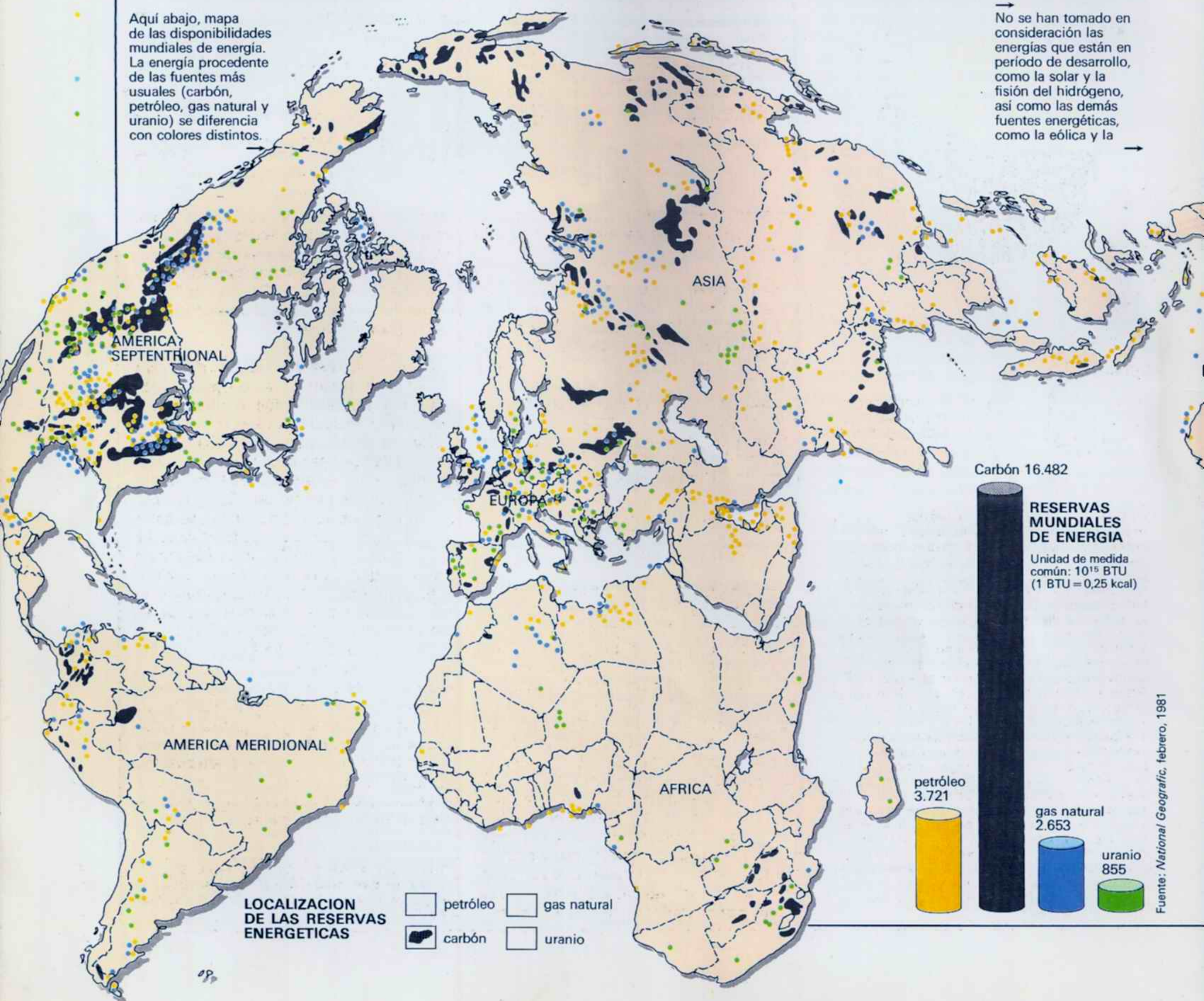
**Carbón** Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) proceden de residuos vegetales o animales que hace siglos fueron enterrados a gran profundidad, quedando sometidos a presiones elevadas y a temperaturas suaves. El carbón, el primer combustible fósil extraído en gran escala, fue muy utilizado en el siglo XIX como fuente de energía, a raíz de la difusión de las máquinas de vapor. Hoy en día suministra el 18% de la energía utilizada en los países industriales, usándose principalmente en las centrales térmicas, en donde se quema para producir el calor necesario para que el agua contenida en las calderas pase al estado de vapor, que pone en movimiento las turbinas de los alternadores. Aunque en el pasado se haya extraído en grandes cantidades de los yacimientos más ricos y rentables y, en ocasiones, con un aprovechamiento extensivo de los filones, las reservas mundiales de carbón son todavía abundantes. Los mayores yacimientos se encuentran en la Unión Soviética y China. Siguen los Estados Unidos con el 30% de las reservas mundiales, Europa con el 10% y Extremo Oriente con el 7%.

**Petróleo** A lo largo de este siglo el petróleo se ha ido convirtiendo en la fuente más importante de energía consumida, debido sobre todo al desarrollo de los motores de combustión interna. En nuestros días el petróleo suministra alrededor del 48% de la energía consumida por los países industrializados, dato muy preocupante, ya que se calcula que las reservas mundiales de esta materia prima no alcanzarán a cubrir las necesidades del próximo medio siglo.

En los trabajos de localización de yacimientos petrolíferos suelen emplearse equipos para la prospección sísmica, además de otros métodos. En general es una tarea larga y complicada que se lleva a cabo en dos fases. La primera consiste en el estudio detallado de los mapas geológicos de la zona donde se presume, por sus características, que puede haber un

Aquí abajo, mapa de las disponibilidades mundiales de energía. La energía procedente de las fuentes más usuales (carbón, petróleo, gas natural y uranio) se diferencia con colores distintos.

No se han tomado en consideración las energías que están en período de desarrollo, como la solar y la fisión del hidrógeno, así como las demás fuentes energéticas, como la eólica y la



yacimiento. Si esta primera información arroja un resultado favorable, comienza la prospección geofísica del terreno para mayor seguridad de la existencia de una bolsa petrolífera. Localizado el yacimiento, comienza el proceso de sondeo, esto es, la perforación del terreno, hasta llegar a la bolsa.

Las mayores reservas de petróleo se encuentran en el Oriente Medio, en donde se halla el 58% del total de las disponibilidades mundiales. La Unión Soviética y China poseen el 12%, mientras que en Africa se encuentra el 10%. Por tratarse de una sustancia absolutamente vital —no sólo como fuente energética sino como materia prima para la industria petroquímica—, en los últimos años se ha extendido la prospección a los fondos marinos, a pesar de que el oleaje y la turbulencia del agua aumentan las dificultades de la perforación. Son muy considerables las explotaciones que se realizan en el Golfo de México, a lo largo de la costa de Brasil y

**RESERVAS REALES DE PETROLEO DIVIDIDAS POR GRUPOS DE PAISES**
(En miles de millones de toneladas)

| Grupos de países | Reservas reales |
|---|---|
| Países del Pacífico (Oceanía y Asia, excluida China) | 2.678 |
| Europa Occidental | 3.149 |
| América Latina | 3.477 |
| Africa | 7.524 |
| América del Norte | 10.478 |
| de los cuales, México | 6.003 |
| Países de economía socialista | 11.774 |
| de los cuales, URSS | 8.595 |
| Oriente Medio | 49.396 |
| de los cuales, Arabia Saudita | 22.923 |
| TOTAL | **88.476** |

Fuente: Oil and Gas Journal, 1980

**RESERVAS DE CARBON DISTRIBUIDAS POR GRUPOS DE PAISES**
(En miles de millones de toneladas)

| Grupos de países | Reservas reales |
|---|---|
| Países del Pacífico (Oceanía y Asia, excluida China) | 28.000 |
| Europa Occidental | 82.000 |
| de los cuales, Reino Unido | 45.000 |
| América del Norte | 187.000 |
| de los cuales, Estados Unidos | 177.000 |
| Países de economía socialista | 246.000 |
| de los cuales, URSS | 110.000 |
| Otros países | 94.000 |
| de los cuales, Sudáfrica | 27.000 |
| TOTAL | **637.000** |

Fuente: World Energy Conference, 1978

**RESERVAS DE GAS NATURAL DISTRIBUIDAS POR GRUPOS DE PAISES**
(En miles de millones de metros cúbicos)

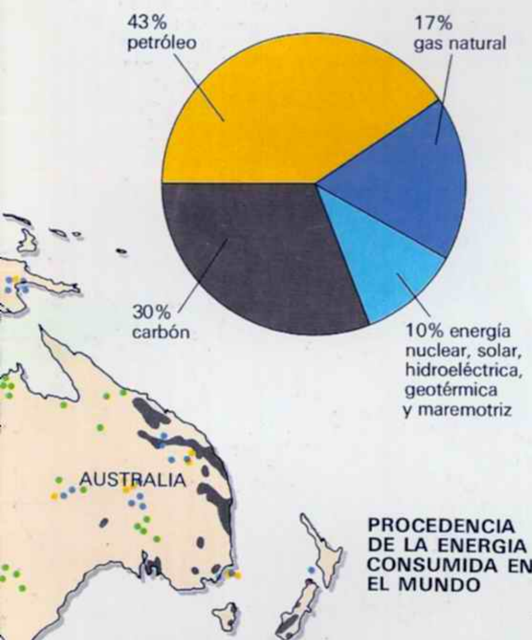
| Grupos de países | Reservas reales |
|---|---|
| Países del Pacífico | 3.630 |
| de los cuales, Australia | 880 |
| Europa Occidental | 3.720 |
| de los cuales, Holanda | 1.685 |
| América Latina | 2.340 |
| Africa | 5.950 |
| América del Norte | 9.660 |
| de los cuales, Estados Unidos | 5.490 |
| Países de economía socialista | 26.460 |
| de los cuales, URSS | 25.470 |
| Oriente Medio | 20.950 |
| de los cuales, Irán | 13.870 |
| TOTAL | **72.710** |

Fuente: Oil and Gas Journal, 1980

**RESERVAS DE URANIO DISTRIBUIDAS POR GRUPOS DE PAISES**
(En toneladas)

| Grupos de países | Reservas reales |
|---|---|
| Australia | 290.450 |
| Europa Occidental | 40.700 |
| América Latina | 74.000 |
| Africa | 560.550 |
| América del Norte | 634.550 |
| Otros países | 138.750 |
| Países de economía socialista | no hay datos |
| TOTAL (excluidos países de economía socialista) | **1.739.000** |

Fuente: Le monde d'aujourd'hui, Atlas économique, Bordas, 1980




**PROCEDENCIA DE LA ENERGIA CONSUMIDA EN EL MUNDO**

→ maremotriz, ya que su utilización es aún cuantitativamente insignificante. Se puede comprobar que los Estados Unidos y la URSS disponen de recursos abundantes en las cuatro fuentes señaladas. La distribución de las reservas de uranio, ligada a fenómenos geológicos distintos de los que han dado lugar a la formación de yacimientos petrolíferos o de carbón, es básicamente distinta a la de las fuentes de energía clásicas. Por otra parte, señalar que el mapa indica solamente las disponibilidades de energía comprobadas. Pero existen también mapas que indican las disponibilidades probables, pues cada año se hacen descubrimientos: en los años ochenta, el ritmo al cual se descubren nuevos yacimientos rentables de petróleo permite afirmar que sus reservas equivalen al consumo efectuado en el mismo período de tiempo. Existen además fuentes que hay que aprovechar mejor, como, por ejemplo, el gas natural. Este gas sale a menudo de los pozos junto con el petróleo y la mayoría de las veces es separado y quemado en el lugar mismo, sin aprovechamiento alguno.

en el Mar del Norte, y con menor importancia en otros muchos puntos, como el delta del Ebro.

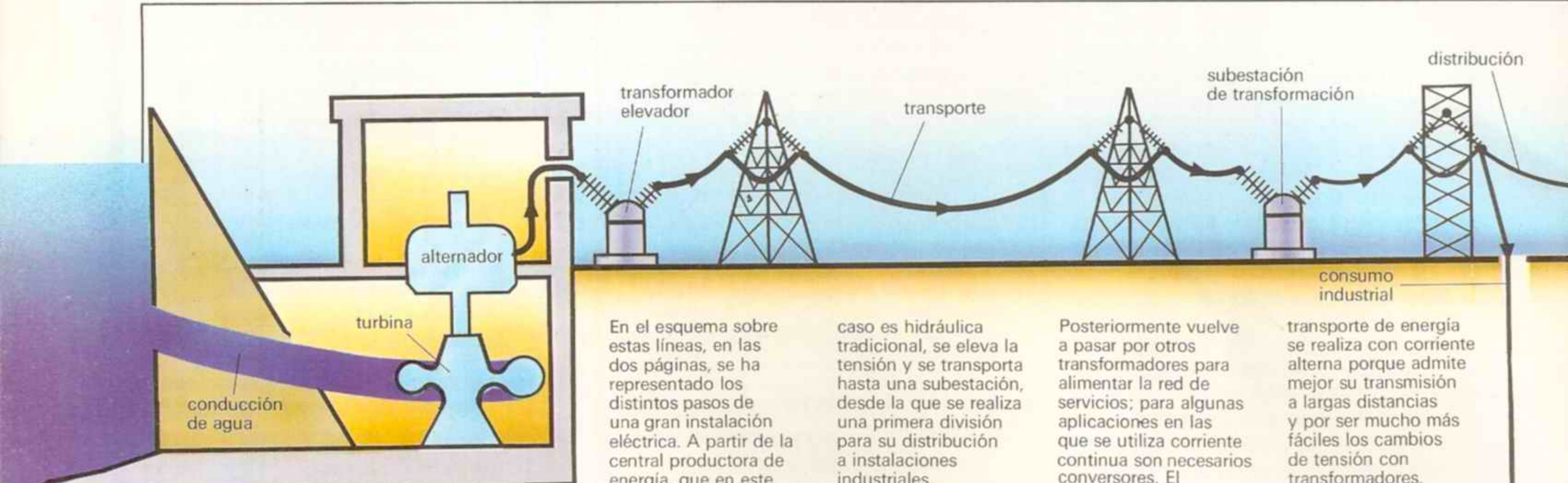
**Gas natural** El gas natural se encuentra a menudo en la parte superior de las bolsas de petróleo, siempre entre formaciones de rocas porosas. Hoy en día el gas natural suministra alrededor del 31% de la energía consumida en los países industrializados; tiene la ventaja de no producir apenas productos de desecho contaminantes, pero desgraciadamente las reservas mundiales de gas, al igual que las de petróleo, tienen los años contados. Los yacimientos más importantes, en orden decreciente, se encuentran en la Unión Soviética, Oriente Medio, Estados Unidos, Africa y Europa Occidental.

**Energía nuclear** Las fisiones nucleares producidas en el seno de un reactor nuclear producen energía que se transforma en calor, haciendo que la temperatura del núcleo se eleve hasta alcanzar cientos de grados centígrados. Por ello se pensó que una aplicación de esta energía podía ser la producción de electricidad. Este tipo de aplicación dio lugar a la instalación de las primera centrales nucleares para producción de energía eléctrica. Debido a las costosas medidas de seguridad necesarias en estas instalaciones —hay que evitar a todo trance cualquier accidente que pueda producir posibles radiaciones—, aún no es seguro que los reactores nucleares puedan utilizarse ampliamente como fuentes económicas de energía eléctrica. Actualmente la producción mundial de energía eléctrica procedente de las centrales nucleares no supera en cantidad a la de las instalaciones hidroeléctricas. En el año 1984 había en funcionamiento alrededor de 350 reactores nucleares comerciales.

**Fuentes alternativas** El previsto agotamiento de las reservas de petróleo ha llevado a la investigación de otras formas de obtener hidrocarburos, como la explotación de los llamados *petróleos no convencionales* (arenas asfálticas y esquistos bituminosos). Las arenas asfálticas tienen un contenido en betún del 18% aproximadamente, y son susceptibles de, mediante determinados procesos, proporcionar hidrocarburos utilizables industrialmente. De los esquistos bituminosos se obtiene queroseno, que, a elevada temperatura, se fracciona en varios productos, uno de los cuales es una especie de petróleo sintético válido para ser destilado y refinado. Estas fuentes de energía, por un lado, y la energía nuclear, por otro, pueden considerarse como viables a corto plazo en un proceso de sustitución del petróleo. Finalmente, las energías solar, geotérmica, maremotriz y eólica constituyen alternativas —aunque a más largo plazo— muy prometedoras, totalmente ilimitadas y de escasos efectos contaminantes.

Véase **Carbón; Energía; Energía, fuentes de; Energía eléctrica, producción de; Energía eólica; Energía geotérmica; Energía maremotriz; Energía solar; Petróleo**

# Energía eléctrica, producción



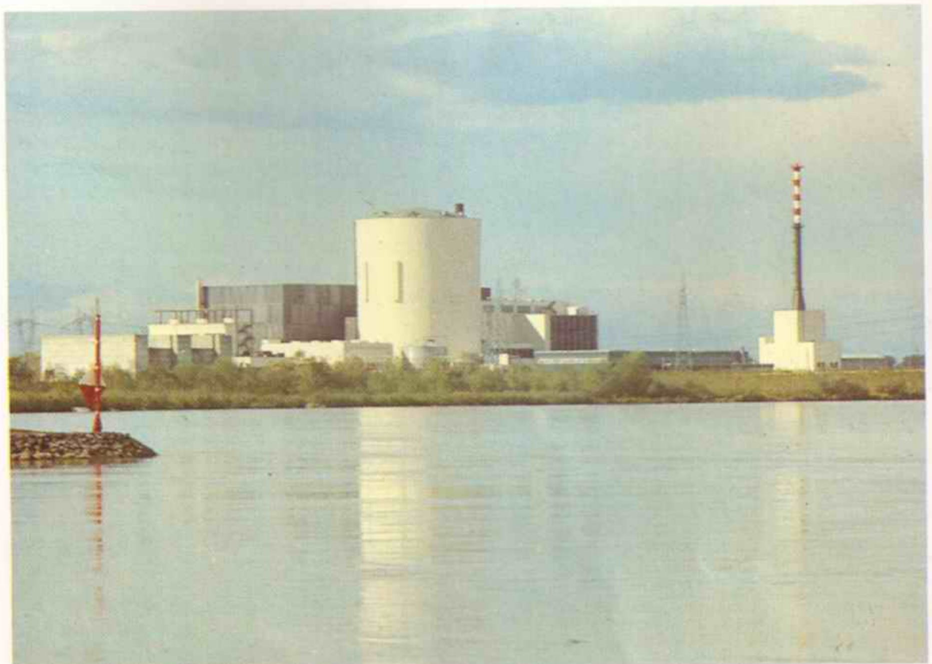

En el esquema sobre estas líneas, en las dos páginas, se ha representado los distintos pasos de una gran instalación eléctrica. A partir de la central productora de energía, que en este caso es hidráulica tradicional, se eleva la tensión y se transporta hasta una subestación, desde la que se realiza una primera división para su distribución a instalaciones industriales. Posteriormente vuelve a pasar por otros transformadores para alimentar la red de servicios; para algunas aplicaciones en las que se utiliza corriente continua son necesarios conversores. El transporte de energía se realiza con corriente alterna porque admite mejor su transmisión a largas distancias y por ser mucho más fáciles los cambios de tensión con transformadores.

En 1831, Michael Faraday movió un hilo conductor, que formaba parte de un circuito eléctrico cerrado, en el interior de un campo magnético, y notó que, con el movimiento, circulaba una corriente eléctrica a lo largo del circuito. Faraday se dio cuenta así de que existía una estrecha relación entre electricidad y magnetismo, y construyó el primer prototipo de *generador eléctrico*, que estaba formado por un disco de cobre que giraba dentro de un campo magnético. Hasta entonces, la electricidad se había obtenido a partir de baterías y de aparatos electrostáticos, pero ninguno de estos métodos podía proporcionar una notable cantidad de energía. El generador de Faraday, perfeccionado, puso fin a esta situación, ya que las máquinas generadoras, con el tiempo, alcanzaron dimensiones que permitieron cubrir las necesidades de grandes ciudades para todo tipo de consumo, desde los trenes a los aparatos de aire acondicionado.

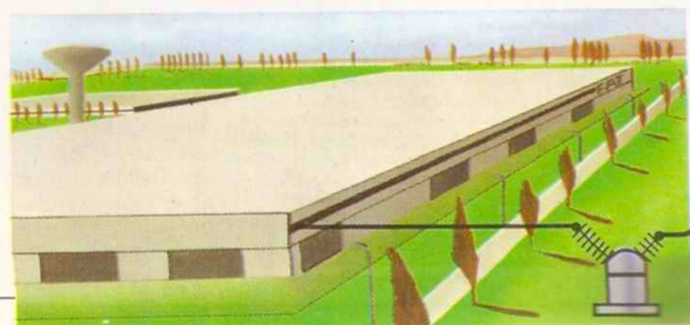
**El generador de electricidad** Un generador de electricidad está formado por un conjunto de bobinas de hilo conductor que gira a gran velocidad entre varios electroimanes. Cuando una bobina conductora se mueve dentro de un campo magnético, se induce una corriente eléctrica que se extrae del generador a través de conductores. Dependiendo de los distintos elementos que tenga, se puede obtener corriente alterna o corriente continua. La mayor parte de los generadores producen corriente alterna, debido a que ésta se puede transportar a grandes distancias y transformar mucho mejor que la corriente continua.

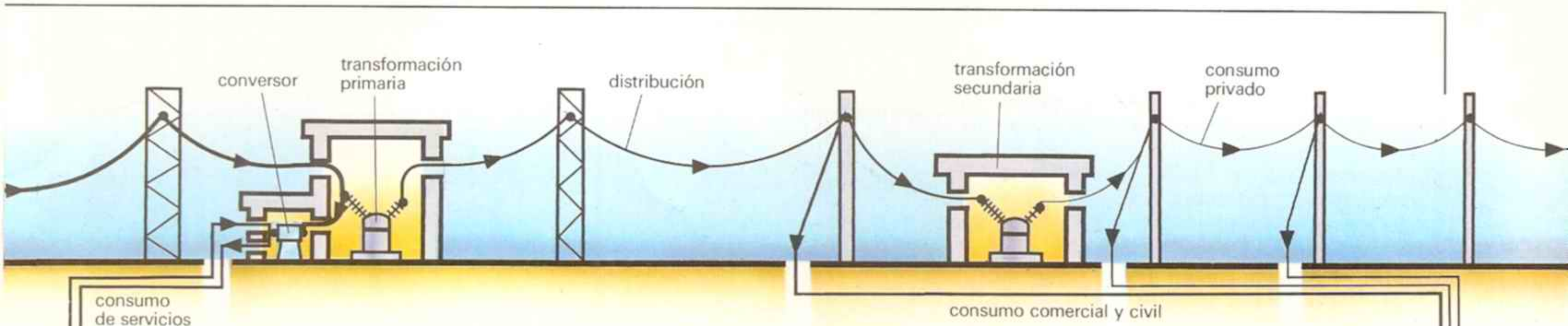
**Centrales eléctricas** La energía eléctrica se produce en instalaciones que reciben el nombre de *centrales eléctricas*, mediante potentes generadores. Estos constan de dos piezas fundamentales. La primera de ellas es una armadura metálica fija, llamada *estator*, cuyo interior está cubierto por una serie de hilos de cobre que forman diversos circuitos. La segunda, denominada rotor, se encuentra situada en el interior del estator. El rotor tiene, en su parte central, un eje alrededor del cual puede girar, y, en su parte más externa, una serie de circuitos que se transforman en electroimanes cuando se les suministra una pequeña cantidad de corriente eléctrica. Así, cuando el rotor gira a gran velocidad, se producen corrientes eléctricas (*corrientes inducidas*) en los hilos de cobre que recubren el interior del estator. Dichas corrientes proporcionan al generador una *fuerza electromotriz* o capacidad de proporcionar energía eléctrica a cualquier sistema conectado con él.

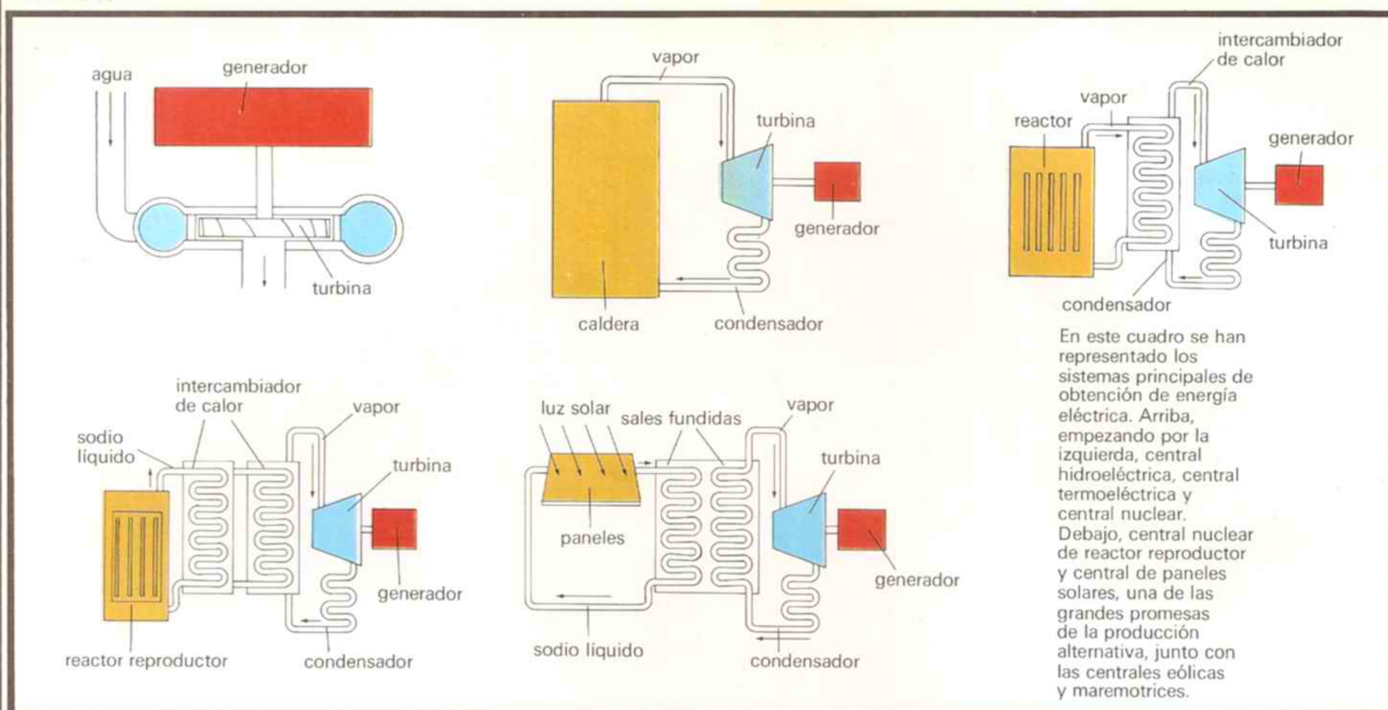
**Transporte de energía eléctrica** Una vez que se ha generado la energía eléctrica, se tiene que transportar hasta el lugar de consumo, que suele estar a menudo a centenares de kilómetros de distancia. Para ello, el conjunto de generadores de la central ha de ponerse en conexión con los lugares en que se consumirá la energía eléctrica. Esta conexión se hace a través de unos tendidos eléctricos. Como la energía eléctrica tiene menos pérdidas cuanto mayor es su fuerza electromotriz, ésta se eleva a la salida de la central, me-



La energía nuclear representa hoy la alternativa más eficaz (pero más discutible, por los riesgos que conlleva) a la obtención de energía eléctrica por métodos tradicionales, como los saltos de agua, el petróleo o el carbón. En la foto de arriba se puede ver la central nuclear de Caorso, Italia.





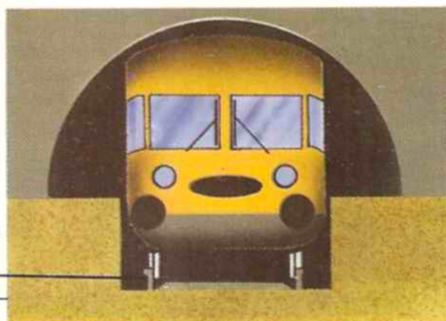

En este cuadro se han representado los sistemas principales de obtención de energía eléctrica. Arriba, empezando por la izquierda, central hidroeléctrica, central termoeléctrica y central nuclear. Debajo, central nuclear de reactor reproductor y central de paneles solares, una de las grandes promesas de la producción alternativa, junto con las centrales eólicas y maremotrices.

diante un aparato llamado *transformador*, hasta alcanzar 110.000, 220.000 ó 380.000 voltios (alta tensión). De esta forma, mediante gruesos hilos de cobre, en tendidos aéreos o bajo tierra, la fuerza electromotriz se transmite hasta los centros de consumo, donde existen a su vez transformadores que disminuyen el voltaje hasta valores de unos 5.000 voltios (media tensión). Por último, antes de llegar a los usuarios, la fuerza electromotriz ha de pasar nuevamente por transformadores que disminuyen su valor hasta 380, 220 ó 125 voltios (baja tensión), que son las magnitudes más adecuadas para que funcionen la mayoría de los aparatos eléctricos de uso doméstico.

En las líneas de alta tensión los conductores están colgados de los brazos de grandes torres metálicas que les sirven de soporte. Para impedir el paso de la corriente desde el conductor al soporte, se utilizan unas piezas fabricadas con material aislante (porcelana, vidrio, esteatita o materiales sintéticos), llamadas *aisladores*. Los tendidos eléctricos están provistos también de *amortiguadores*, que evitan que los cables se rompan o entren en contacto con la torre cuando soplan fuertes vientos, y de *interruptores* que cortan automáticamente la corriente cuando hay un fallo en la línea.

**Red de distribución de energía** Las líneas de alta tensión están interconectadas formando la llamada *red de distribución de alta tensión*. Este sistema de distribución permite evitar perjuicios debidos a interrupciones repentinas del suministro de energía en una parte cualquiera de la red. Cuando se produce una de estas interrupciones en un punto, se recibe energía a partir de otros centros de producción unidos a la red. De esta forma la carga debida a un fallo se reparte mejor entre todo el conjunto, con lo que los usuarios pueden llegar a no notar el fallo. En condiciones normales, la red tiene la finalidad de repartir uniformemente la carga eléctrica.

A pesar de las precauciones tomadas, se han producido casos en los que un fallo ha afectado a toda la red de distribución. Por ejemplo, la ciudad de Nueva York se ha quedado dos veces completamente a oscuras debido a averías de componentes esenciales. En otras ocasiones





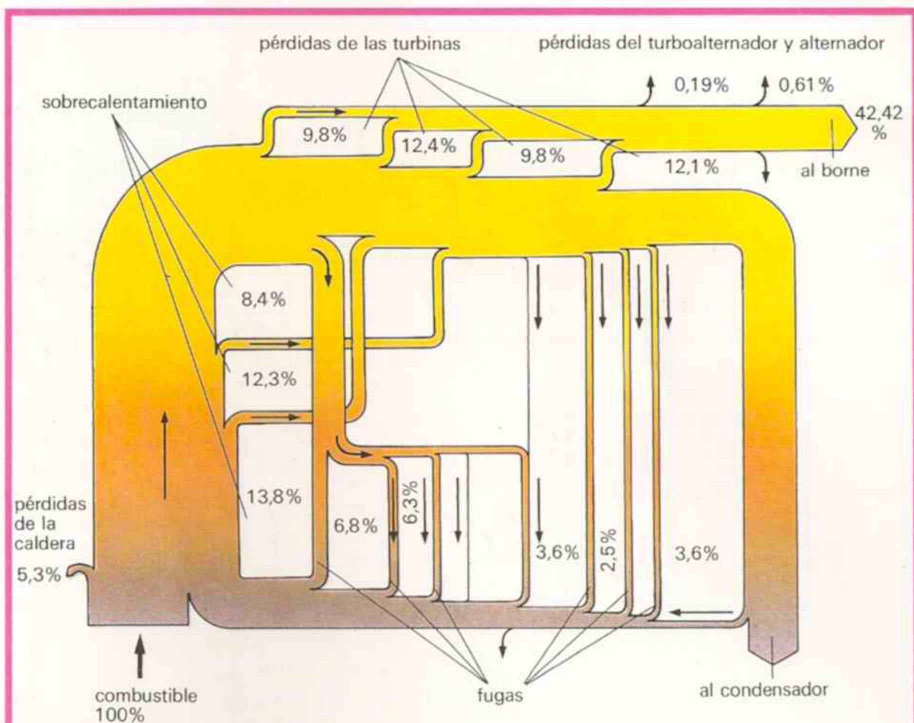


se ha producido el corte total por averías en la instalación o por sobrecarga.

**La energía eléctrica en la oficina y en casa** Cuando la energía a alta tensión llega al lugar de consumo, como por ejemplo una ciudad, se vuelve a transformar disminuyendo su tensión, por lo que tiene que aumentar su intensidad de corriente para que se mantenga la potencia. Por ejemplo, la electricidad que llega a 345.000 voltios de tensión se reduce a través de varios pasos hasta los 220 voltios y se distribuye por medio de otros conductores a los puntos de consumo. Para usos no industriales se suelen utilizar dos tensiones: 220 voltios para aparatos de calefacción o de aire acondicionado y 125 voltios para los aparatos de menos potencia. Estas tensiones pueden variar de un país a otro.

Los teléfonos, que funcionan con tensión continua baja (48 voltios), tienen un sistema de distribución completamente separado e independiente de la red de distribución de energía de la zona correspondiente.

Para tener una idea del consumo de electricidad, se utiliza la potencia eléctrica y su unidad de medida, el *vatio*. Se consume una potencia de 1 vatio cuando un aparato absorbe una corriente de 1 amperio funcionando a una tensión de 1 voltio, y es equivalente a 1/736 caballos de vapor. Debido a que los distintos aparatos juntos consumen bastantes miles de vatios de potencia (recuérdese que una común bombilla consume entre 60 y 100 va-

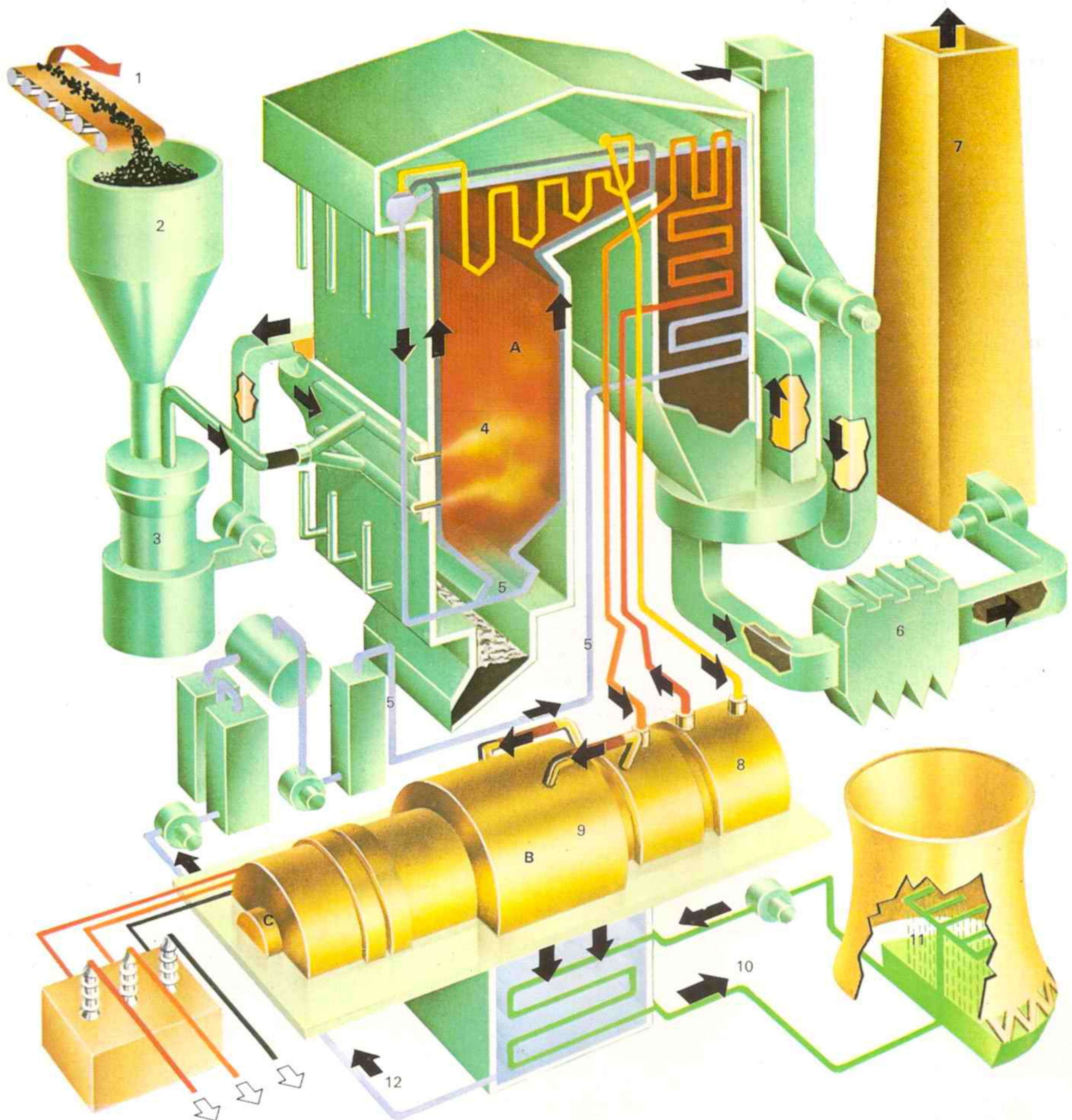



En una central eléctrica se producen numerosos pasos, desde la utilización de la fuente de energía a la obtención de electricidad, que conllevan pérdidas energéticas. En el diagrama de la figura se ha reproducido el balance energético de una gran central termoeléctrica. A partir de la energía proporcionada por el combustible se han indicado las pérdidas (en porcentaje) en las distintas fases de la producción. Como se puede ver, tomando como 100% la energía potencialmente disponible en el combustible a la entrada, el rendimiento final del proceso no llega al 50% en los bornes de obtención de electricidad.



ENEL






En la página anterior, abajo a la izquierda, una central solar, y, a la derecha, una central geotérmica. Sobre estas líneas, funcionamiento de una central termoeléctrica de carbón. El carbón llega a la central en la cinta transportadora (1) y cae a un depósito (2). Un molino (3) lo pulveriza y el polvo mezclado con aire caliente se inyecta en el horno de la caldera (4). El calor que se desarrolla calienta el agua de las tuberías (5), mientras que la ceniza, después de haber cedido calor a un intercambiador (6), se muele y elimina por la chimenea (7). El vapor obtenido llega a las turbinas de alta, media y baja presión (8 y 9). El vapor de vuelta se transforma de nuevo en agua en la torre de refrigeración (10 y 11) y vuelve a la caldera (12). El generador de energía eléctrica está unido al eje de la turbina. Las letras A, B y C indican los complejos correspondientes a la caldera, la turbina y el generador.

tios), se utiliza como unidad de medida el *kilovatio* (1 kilovatio = 1.000 vatios).

A pesar de que su coste es cada vez mayor, el consumo de electricidad aumenta en todos los países. Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Bélgica, Luxemburgo, Australia, República Federal Alemana y Unión Soviética presentan los mayores índices de consumo por habitante.

Véase **Electricidad; Línea eléctrica de alta tensión; Transformador**

# Energía eólica

Durante milenios los barcos de vela han aprovechado la energía eólica para navegar por los mares. En el último milenio, los molinos de viento la han aprovechado en tierra firme; los campos holandeses, españoles y griegos están cubiertos por molinos. Sin embargo, la potencia del viento ni es muy grande ni es fácilmente controlable, por lo que progresivamente ha sido sustituida por otras fuentes de energía tan pronto éstas se hacían disponibles. Pero, recientemente, el increíble aumento del coste de los combustibles convencionales ha impulsado el desarrollo de tecnologías más eficaces en las que pudiera intervenir la energía eólica. Esta presenta de hecho algunas ventajas frente a las fuentes energéticas convencionales: a pesar de ser variable y discontinua, es una forma de energía limpia, en absoluto contaminante, gratuita y renovable. Es limpia en el sentido de que no comporta efectos secundarios indeseados, como la producción de escorias contaminantes. Es renovable considerando que la energía eólica deriva sustancialmente de la energía del Sol, que, al calentar de manera no uniforme la atmósfera y la superficie terrestre, provoca la formación de gradientes de presión en la atmósfera y, en consecuencia, el movimiento de grandes masas de aire, que comúnmente se denomina *viento*; por lo tanto, el viento continuará soplando mientras el Sol siga brillando.

**Los molinos de viento** El típico molino de viento aparece representado a menudo en los paisajes holandeses de pintores de los siglos XVII y XVIII y en los grabados del *Quijote*. Generalmente estaba provisto de un rotor con cuatro —o, más raramente, con seis— brazos sobre los que se tensaban piezas de tela de forma rectangular. La presión ejercida por el viento sobre la tela, que presentaba un determinado ángulo de inclinación, hacía girar el rotor alrededor de un eje.

En el interior del molino, una serie de engranajes y mecanismos permitía utilizar la potencia disponible en el eje del rotor para llevar a cabo varios tipos de trabajos, como el bombeo del agua o la molienda del grano.

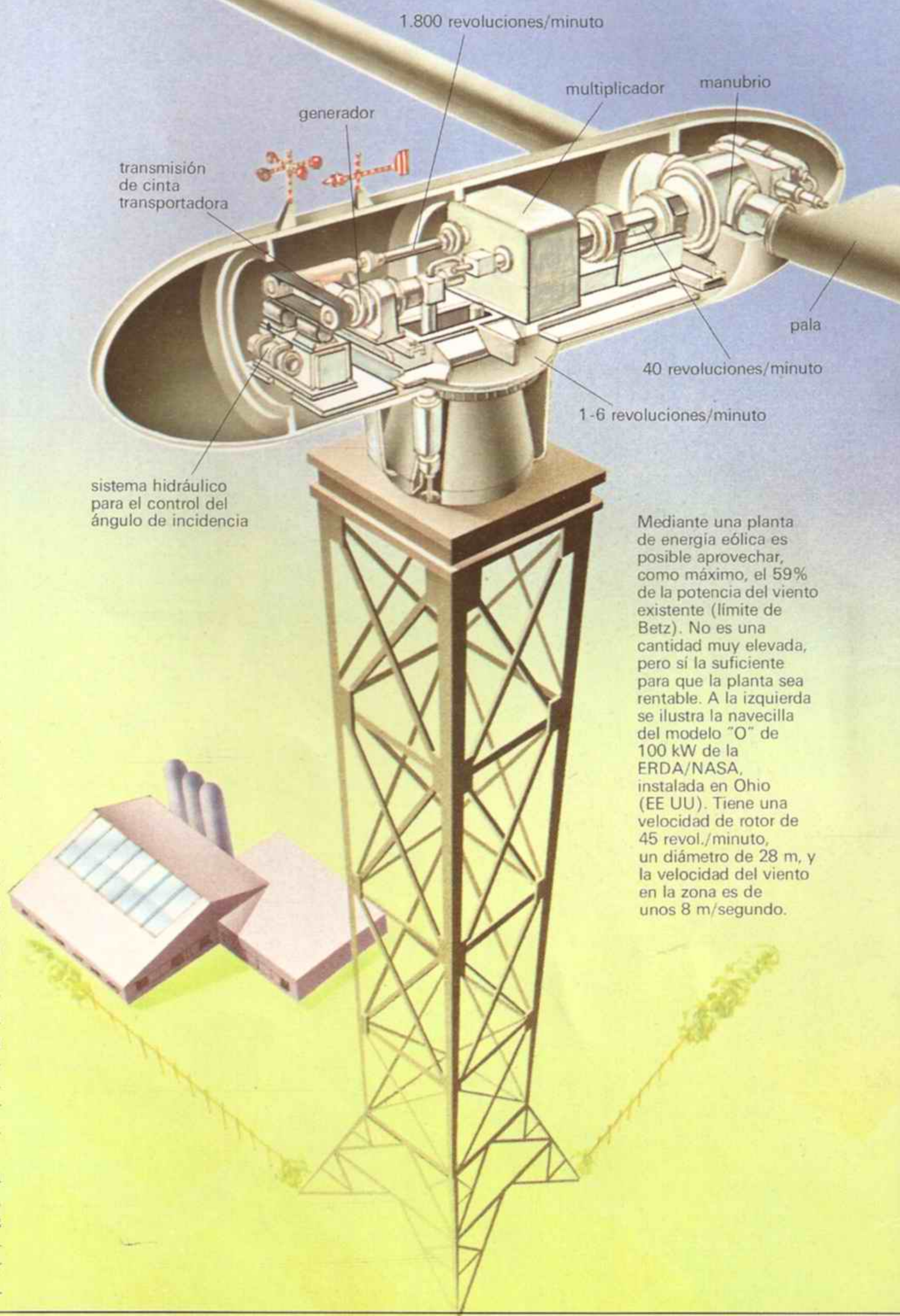
Los molinos de este tipo estaban constituidos esencialmente por una torre mocha, cerrada en el extremo por un techo en forma cónica. El árbol del rotor salía lateralmente en posición horizontal a través del techo, y se le podía hacer girar de modo que el disco del rotor estuviera colocado perpendicularmente a la dirección del viento, cualquiera que ésta fuese. Las velas podían replegarse total o parcialmente en caso de vientos demasiado fuertes, ya que de lo contrario podrían hacer girar las palas a tal velocidad que se estropearía el molino.

Los modernos molinos de viento son bastante diferentes de sus predecesores. En vez de estar unidos directamente a las máquinas que deben accionar, generalmente están conectados a un generador eléctrico. Su aspecto es también notablemente diferente: están constituidos por un rotor que tiene la forma de una gran hélice de avión, colocado sobre la parte superior de una torre muy alargada.

Sin embargo, también los molinos de viento modernos experimentan los inconvenientes propios de los antiguos. La fuerza del viento es incontrolable, y además las zonas donde éste es mayor y la dirección más constante suelen estar lejos de los centros de población, lugares donde la demanda de energía es mayor.

Otro factor a tener en cuenta es que las tensiones mecánicas que experimentan los rotores limitan la posibilidad de construir molinos de grandes dimensiones.

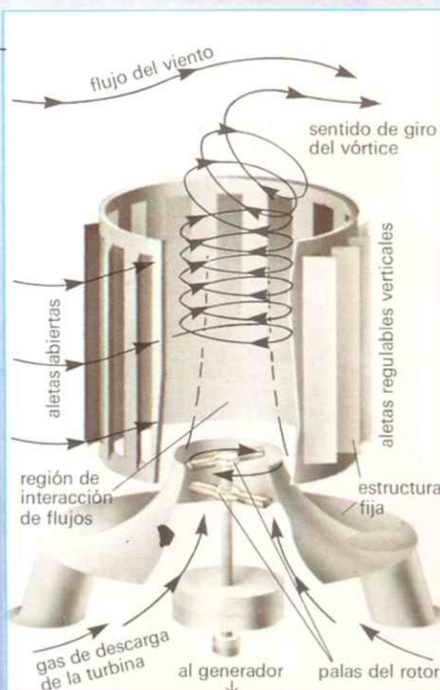
**Las turbinas eólicas** Las turbinas eólicas constituyen un tipo distinto de máquina para el aprovechamiento de la energía del viento. Mientras que en los modernos molinos de viento se intenta obtener una potencia mayor aumentando las dimensiones del rotor, en las turbinas eólicas esto se consigue haciendo aumentar la velocidad del viento antes del choque



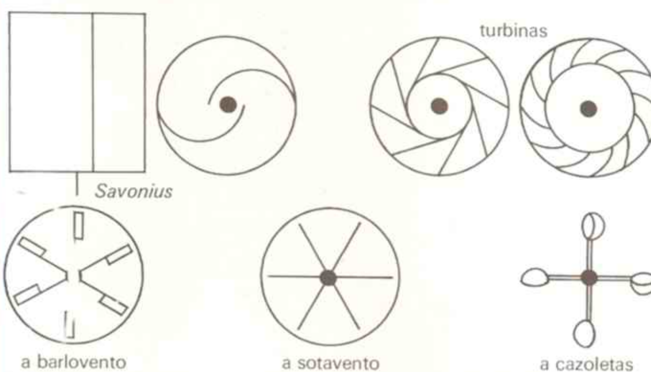

Mediante una planta de energía eólica es posible aprovechar, como máximo, el 59% de la potencia del viento existente (límite de Betz). No es una cantidad muy elevada, pero sí la suficiente para que la planta sea rentable. A la izquierda se ilustra la navecilla del modelo "O" de 100 kW de la ERDA/NASA, instalada en Ohio (EE UU). Tiene una velocidad de rotor de 45 revol./minuto, un diámetro de 28 m, y la velocidad del viento en la zona es de unos 8 m/segundo.

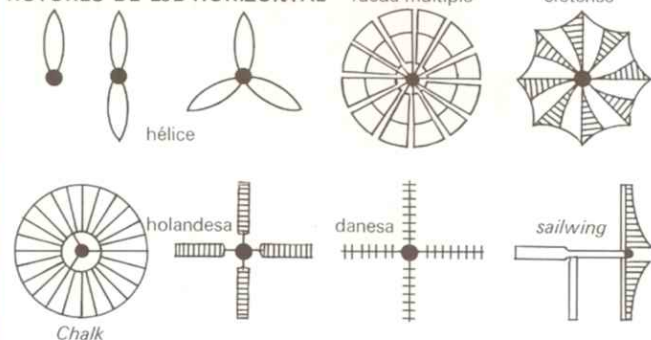
de éste con el rotor. Para lograrlo, el rotor no está expuesto directamente al viento, como en los molinos, sino en el interior de una cámara hacia la que el viento es canalizado por una serie de paletas y de superficies curvas. Estas provocan un aumento de la velocidad del viento, aprovechando los mismos fenómenos que permiten a los aviones volar y que a veces originan corrientes de aire de gran velocidad en la base de altos rascacielos.

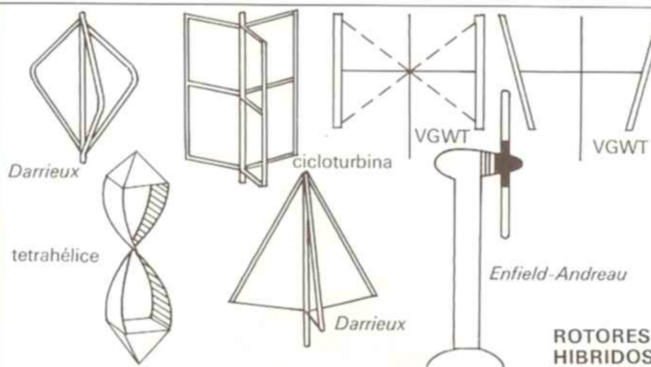
Véase **Energía; Energía, fuentes de**






La diversidad de tipos de rotores nace de la necesidad de compensar los varios factores que intervienen y de tratar de obtener el mayor rendimiento posible. Los molinos de viento pueden ser de tres tipos: *molinos de eje vertical, molinos de eje horizontal* y *molinos híbridos*. Los primeros tienen un rotor que se mueve sobre un eje perpendicular a la dirección del viento, mientras que las palas se muevan en su misma dirección. Los molinos persas y los de rotor Savonius constituyen un típico ejemplo. Los molinos de eje horizontal tienen el eje del rotor paralelo a la dirección del viento y el propio rotor gira en un plano perpendicular a dicha dirección. Ventajas de este tipo de rotor: una alta velocidad de rotación, elevado coeficiente de transmisión y de potencia. Son los molinos que se utilizan en la producción de electricidad. Los molinos híbridos derivan del intento de reunir en una solución única las ventajas de los tipos precedentes; generalmente tienen palas aerodinámicas que se mueven sobre un eje vertical. Es posible obtener altas velocidades de rotación y coeficientes de potencia cercanos al valor teórico. A la izquierda, esquema de los rotores de mayor uso en la actualidad.



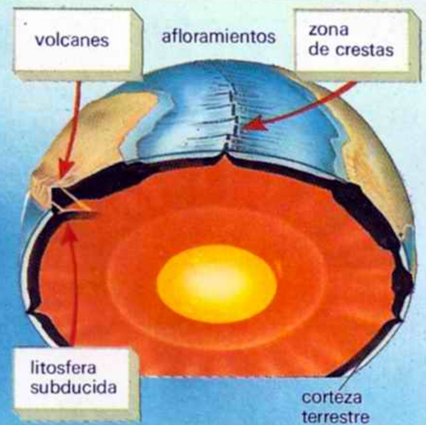
El concepto de torre de vórtices es uno de los nuevos sistemas estudiados por el Departamento de Energía de EE UU. La torre, girando a una velocidad considerable, crea un vórtice en el que el aire experimenta una succión similar a la que tiene lugar en un tornado. Se aplica así al rotor, que a su vez acciona una turbina, produciendo electricidad.

# Energía geotérmica

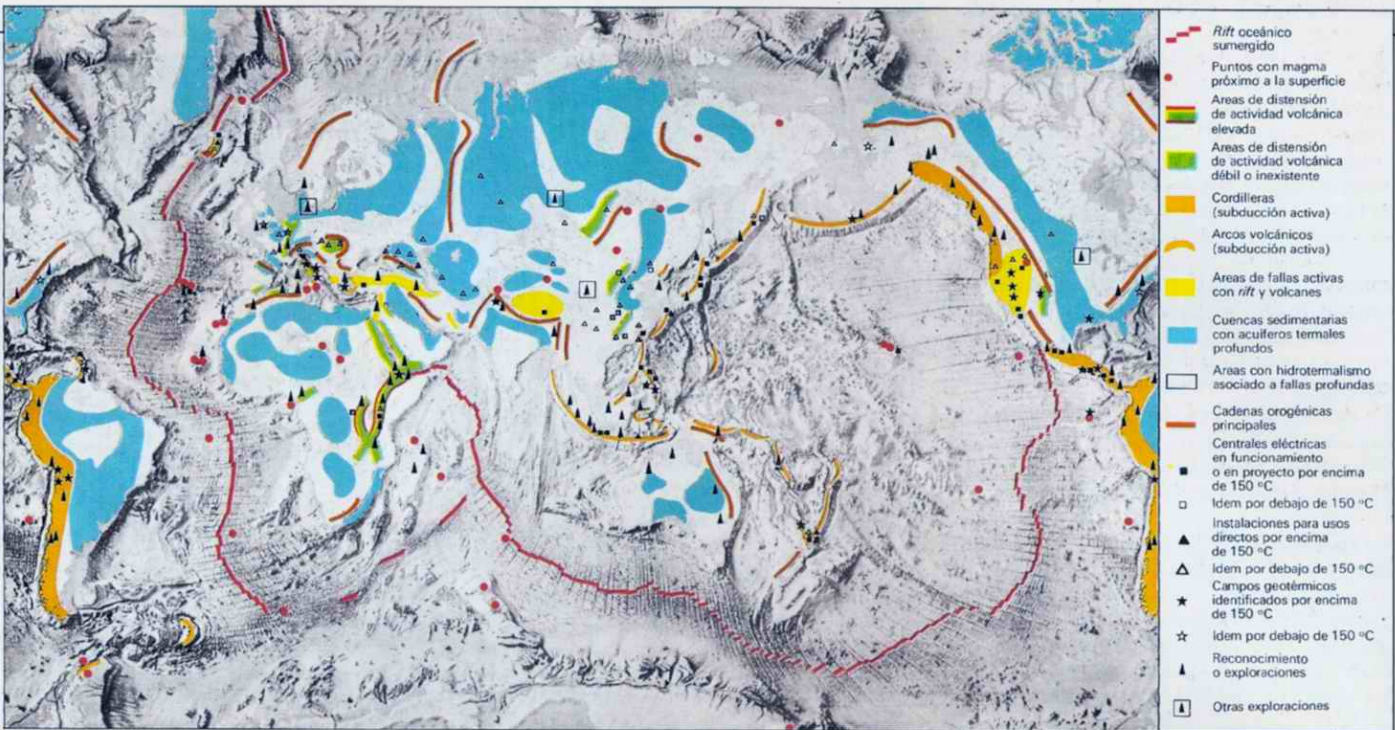
La civilización actual necesita electricidad. Y si por la escasez y encarecimiento del petróleo no se puede seguir pensando en obtenerla quemando derivados del petróleo; si por la irregularidad de las lluvias en muchas zonas de nuestro planeta no puede confiarse sólo en las centrales hidroeléctricas, dado además el crecimiento rapidísimo de la población mundial; si quemar carbón parece un derroche insostenible dadas sus múltiples aplicaciones industriales; y si, finalmente, los programas nucleares se frenan, parece lógico pensar que debemos ver cómo intentar obtenerla por otros métodos.

**El calor interno de la Tierra** Cualquiera que tenga la posibilidad de observar un volcán activo o un géyser podrá intuir fácilmente la cantidad de energía que en forma de calor almacena nuestro planeta. Existen varias teorías para explicar esas altas temperaturas existentes en el interior de la Tierra. Unas lo atribuyen a los restos de la materia incandescente que en el origen debió constituir nuestro planeta; otras suponen que este calor proviene de ciertos procesos radiactivos que tienen lugar en el núcleo terrestre; y, por último, hay científicos que sostienen que las altas temperaturas se deben al efecto de las inmensas presiones existentes bajo la corteza.

Sea cual sea el origen del calor, lo que está comprobado es que, conforme se profundiza en las perforaciones, se observa un aumento de temperatura, que varía




muy baja, energía
baja energía
media energía
alta energía
alta energía
muy alta energía
altísima energía
20-50 °C
50-90 °C
90-150 °C
desde 150 °C
desde 450 °C
desde 600 °C
1.000-1.250 °C
géyser
bombas
inter-cambiador de calor
turbo-alternador
turbo-alternador
turbo-alternador
turbo-alternador
turbo-alternador
agua bajo presión
agua bajo presión
agua bajo presión
agua bajo presión
roca semiimpermeable
infiltraciones
infiltraciones
bolsa de agua
fracturas artificiales
depósito poroso
intercambiador de calor
calor
calor
calor
calor
basamento impermeable
hasta los 5-10 km
convección
magma




El aprovechamiento de la energía geotérmica exige el conocimiento de la distribución de la áreas "calientes" de nuestro planeta, pero no calientes en la superficie sino a una determinada profundidad (mapa sobre estas líneas). La tectónica de placas proporciona una explicación racional de la distribución de las fuentes geotérmicas en nuestro planeta.

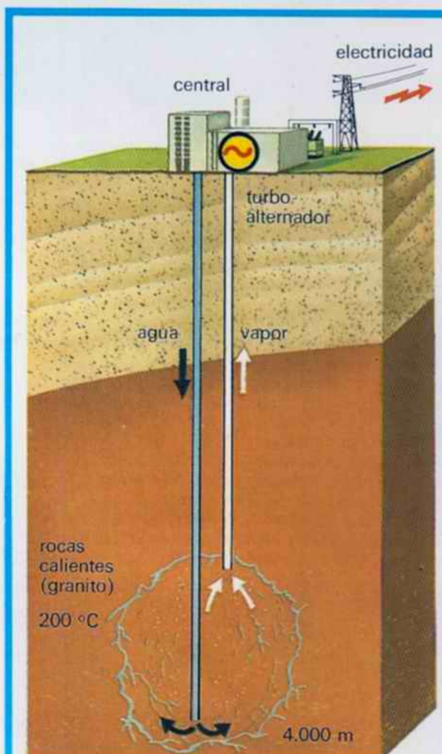
de unas zonas a otras, pero que, en general, se puede cifrar en unos tres grados centígrados por cada cien metros de profundidad. Este aumento de temperatura —*gradiente geotérmico*— ha permanecido prácticamente constante en todas las excavaciones realizadas. Sin embargo, los científicos suponen que variará cuando se alcancen mayores profundidades, ya que, caso de mantenerse constante, teniendo en cuenta el radio terrestre, en el centro de nuestro planeta la temperatura alcanzaría un valor próximo a los 20.000 °C, lo que no concuerda con lo calculado teóricamente por distintos hombres de ciencia (alrededor de 6.000 °C).

**Utilización de la energía geotérmica** El primer intento a escala industrial de aprovechamiento del calor interno de la Tierra se llevó a cabo en Lardarello (Italia), donde se instaló una central geotérmica de notable potencia. Otros países —México, Japón, la Unión Soviética, Nueva Zelanda e Islandia, entre otros muchos— han procedido también a la instalación de sistemas capaces de producir calor o electricidad utilizando como fuentes energéticas no la combustión del carbón o del fuel-oil, sino el interior de la Tierra. Islandia, por ejemplo, ha conseguido que su capital, Reykjavik, con cerca de cien mil habitantes, solucione sus necesidades de calefacción mediante el aprovechamiento de aguas termales, que son bombeadas desde profundos pozos y transportadas hasta las zonas de vivienda por una compleja red de conductos.

Para el aprovechamiento del calor interno de la Tierra, primero se perfora el terreno hasta una cavidad natural donde la temperatura sea elevada. Posteriormente, se introducen dos tubos, uno que llega hasta la base de la cavidad, y por él se bombea agua a presión, y otro más corto por el que se recupera el vapor a presión, el cual es conducido hasta la turbina de una central térmica convencional siguiendo el proceso ya tradicional.

Estimaciones recientes aseguran que mediante este tipo de instalaciones se podría obtener anualmente energía equivalente a un billón de barriles de petróleo.

Sin embargo, son varios los inconvenientes que presenta este tipo de centrales. Por un lado, la inyección de agua a presión podría provocar hundimientos en el terreno. Por otro, la duración limitada de este tipo de instalaciones (unos cuarenta años), aunque esto se ve compensado por la rapidez de su puesta a punto (unos dos años). Por último, el peligro de obstrucción en las conducciones cuando se emplea agua no tratada, ya que ésta contiene disueltas gran cantidad de sales.




El problema de la captación de la energía geotérmica se complica no tanto por la profundidad a la que se encuentra, sino por las elevadas temperaturas de las rocas a través de las cuales hay que penetrar y por la necesidad de disponer de tecnología capaz de extraer dicha energía. Muy interesantes son los proyectos para la captación de las aguas y del vapor a temperaturas intermedias y medio-bajas. En este caso el problema estriba en que es necesaria una amplia superficie de contacto entre los fluidos introducidos en profundidad y las rocas calientes. En el esquema puede verse cómo se ha propuesto perforar hasta alcanzar rocas eruptivas calientes e introducir hasta aquí agua a presión, de forma que rompa las rocas y se origine una mayor superficie de intercambio térmico.

En la página anterior, los métodos con los que se puede extraer energía geotérmica, distintos según la temperatura de la fuente. Para las temperaturas más elevadas, se puede hacer que el agua descienda a la profundidad necesaria para convertirse en vapor, que vuelve a ascender; para temperaturas más bajas, se puede utilizar el agua termal que se evapora en la superficie, y a temperaturas aún más bajas se usa el agua únicamente para la calefacción.

Véase **Energía; Géyser**

# Energía maremotriz

El enorme potencial energético encerrado en el movimiento perpetuo de las aguas de los océanos ha inspirado durante siglos a los inventores; sin embargo, muchos proyectos quedaron sin realización a causa de las dificultades debidas a las condiciones atmosféricas adversas, a los efectos corrosivos del agua salada sobre las partes metálicas, a los elevados costes y a las pérdidas que se producen en la transferencia de energía eléctrica desde los puntos de producción en mar abierto a las bases de utilización situadas en tierra.

Actualmente, los recursos energéticos marinos pueden aprovecharse a partir de las mareas, de las olas y de las diferencias térmicas de sus distintas capas.

**La energía de las mareas** Las mareas son el resultado de la atracción gravitatoria ejercida por el Sol y la Luna sobre nuestro planeta. Sus periódicos vaivenes pueden suministrar una incalculable cantidad de energía mecánica.

El primer sistema operativo importante para el aprovechamiento de la energía de las mareas fue construido a principios de los años sesenta junto al estuario del río Rance, cerca de St. Malo (Francia). En efecto, en 1966 entró en servicio una central eléctrica que aprovecha las mareas para accionar turbinas capaces de moverse en dos direcciones, lo que permite generar electricidad tanto en pleamar como en bajamar.

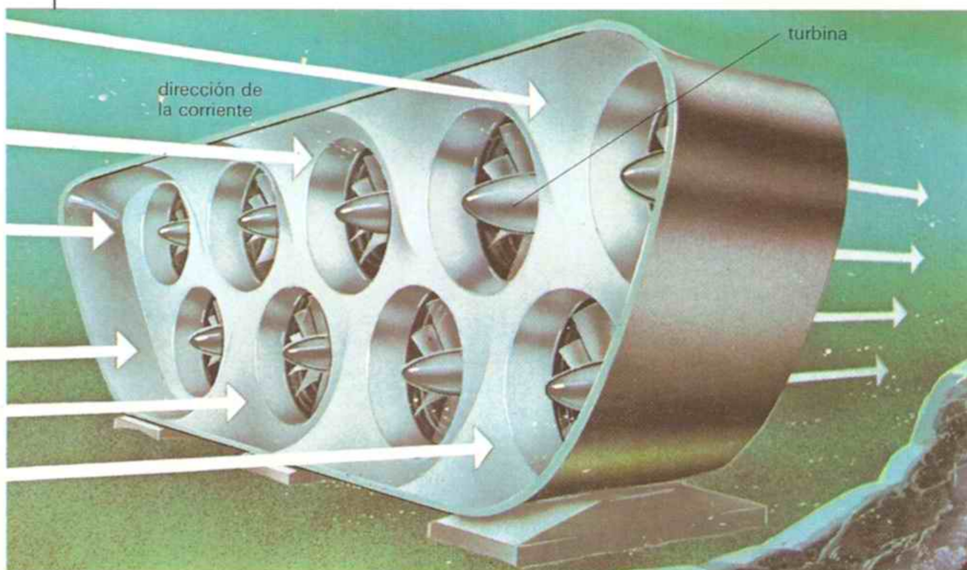
La central de St. Malo tiene una potencia de 500 megawatios (1 megawatio = 1 millón de watios), que es suficiente para cubrir las necesidades de una ciudad de 40.000 habitantes, y ello con costos inferiores a los de cualquier otra instalación similar. Sin embargo, algunas críticas a esta instalación apuntan el hecho de que provoca la destrucción del ecosistema del estuario, lugar de reproducción para muchos organismos marinos.

Un inconveniente a tener en cuenta en este tipo de instalaciones es el hecho de que una de las crestas de máxima generación de energía se da precisamente en plena noche, coincidiendo con el período de menor demanda de energía eléctrica.



Grazia Neri

La central maremotriz del río Rance (Francia) es el primer sistema importante operativo de aprovechamiento de la energía marina. La instalación utiliza las variaciones de marea según el modelo simplificado que se muestra en el esquema superior de la página siguiente. A) En la fase de marea alta, la diferencia de nivel entre la marea y el estanque de reserva obliga al paso del agua a través de la turbina. B) Para alcanzar el nivel de pleamar se bombea el agua en el estanque. C) Con el descenso de la marea se produce el máximo desnivel entre el estanque y el mar; la electricidad es generada por la salida de agua del estanque. D) Durante la bajamar desciende el nivel del agua en el estanque, creándose el mayor desnivel posible para recomenzar el ciclo. En el dibujo situado bajo estas líneas se muestra una turbina para el posible aprovechamiento de las corrientes marinas.




**La energía de las olas** El aprovechamiento realmente eficaz y rentable de la energía de las olas parece estar lejano, pues tropieza con el inconveniente de las altísimas inversiones que son precisas y con la dificultad de hallar materiales suficientemente ligeros y, además, resistentes a la corrosión. Con todo, existen algunos dispositivos capaces de aprovechar esta energía, si bien se hallan todavía en fase experimental.

Uno de esos dispositivos de que hablamos consiste en un depósito flotante de dos niveles. Las olas introducirían agua en un tubo equipado con una válvula de aspiración de sentido único y empujarían dicho líquido hacia el compartimento superior, que, al rebosar por la afluencia del agua, se descarga en el nivel inferior haciendo girar una turbina.

Por otro lado, ingleses y japoneses están realizando experimentos con boyas huecas en forma de anillo. El movimiento extensional de las olas empuja el agua hacia el interior de la boya a través de ranuras practicadas en el fondo, desplazando el aire del interior hacia arriba a través de las turbinas y saliendo posteriormente al exterior por unas aberturas situadas en la parte superior de la boya. El movimiento descendente de las olas vuelve a aspirar el aire a través de las turbinas, que de este modo giran en el sentido determinado por el flujo de aire.

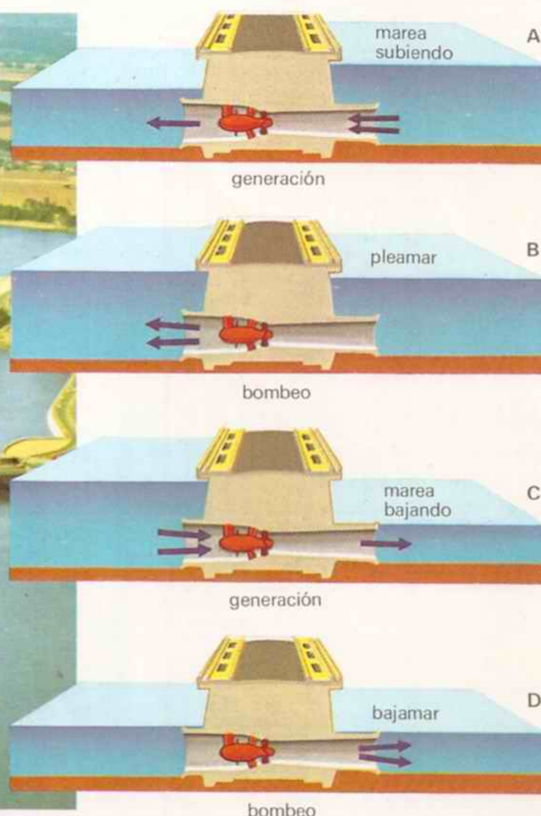
ciclaje mediante intercambio de calor con el agua fría bombeada desde una profundidad de 700 a 1.200 metros.

Debido a que el OTEC necesita un incremento de temperatura de aproximadamente 20 °C, condición ésta que se verifica únicamente cerca del Ecuador, los emplazamientos se han localizado en las cercanías de Puerto Rico, Hawai y Micronesia. El primer modelo operativo, montado sobre una balsa, es el Mini-OTEC, que comenzó a funcionar de forma experimental en 1979 en las aguas de Keanhole Point, en Hawai.

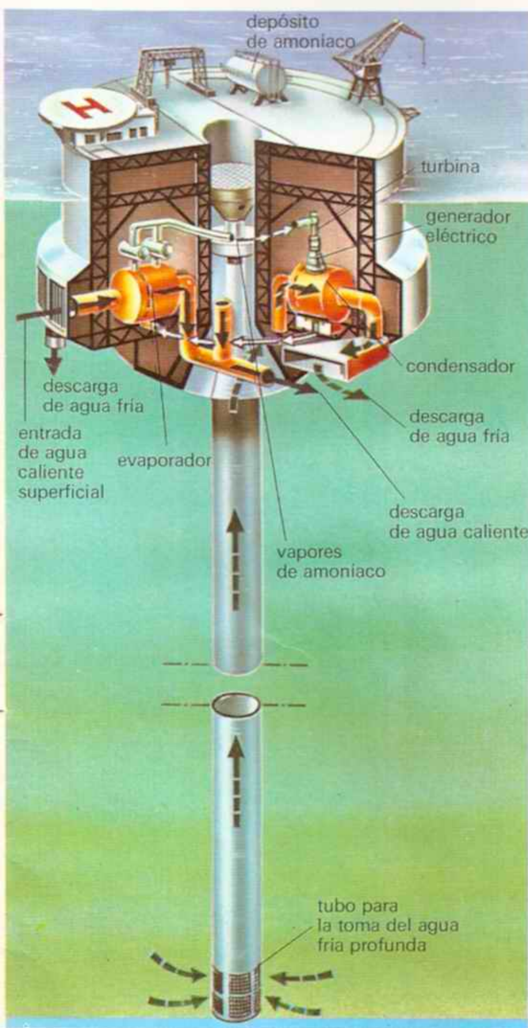
El OTEC es un método más caro que muchos otros sistemas de aprovechamiento de energía solar o marina, por lo que su realización ha debido ser subvencionada por la Administración estadounidense con fondos públicos. Pero hay que tener en cuenta que el combustible que emplea es gratuito e inagotable, por lo que es de esperar que los costos disminuyan rápidamente después del período inicial de construcción de las instalaciones necesarias.

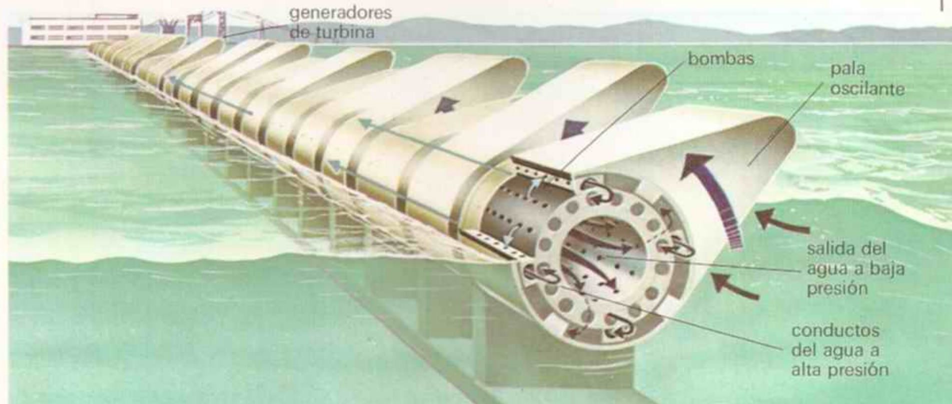
A pesar de esta experiencia piloto, todavía quedan problemas por solucionar: por ejemplo, no se conoce el modo en que las instalaciones OTEC de tamaño real podrían hacer frente a condiciones atmosféricas adversas, como tampoco está claro cuál podría ser su impacto sobre el medio ambiente.






Bajo estas líneas, la acción oscilante de las palas es utilizada para empujar el agua a presión a través de conductos de pequeño diámetro. El flujo de agua pone en movimiento turbinas conectadas a generadores eléctricos, y después vuelve al mar a través de un colector central. En el sistema OTEC (abajo a la izquierda), el agua caliente del evaporador lleva a ebullición un líquido refrigerante (amoníaco) cuyo vapor acciona la turbina de un generador eléctrico, para después volver al estado líquido mediante el contacto con el agua fría del condensador. El amoníaco líquido vuelve al evaporador y el ciclo se inicia de nuevo.




**Proyecto OTEC: alta tecnología en alta mar** Como apuntábamos al inicio, se puede obtener energía de la diferencia de temperatura existente entre las capas superficiales del océano y las más profundas. Estas diferencias térmicas permiten desencadenar un ciclo termodinámico al final del cual se obtiene energía. En estos parámetros se fundamenta el proyecto estadounidense denominado *OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion,* o Conversión de la Energía Térmica del Océano), que es básicamente una aplicación tecnológica de la energía solar basada precisamente en esa diferencia de temperatura entre las aguas oceánicas superficiales y las profundas. Un fluido activo, como el amoníaco, es mantenido a baja presión y evaporado mediante intercambio de calor con el agua caliente superficial, pudiendo dicho vapor mover una turbina. El fluido es posteriormente condensado para su re-

Véase **Energía; Energía eléctrica, producción de; Energía, fuentes de; Energía solar**

# Energía solar

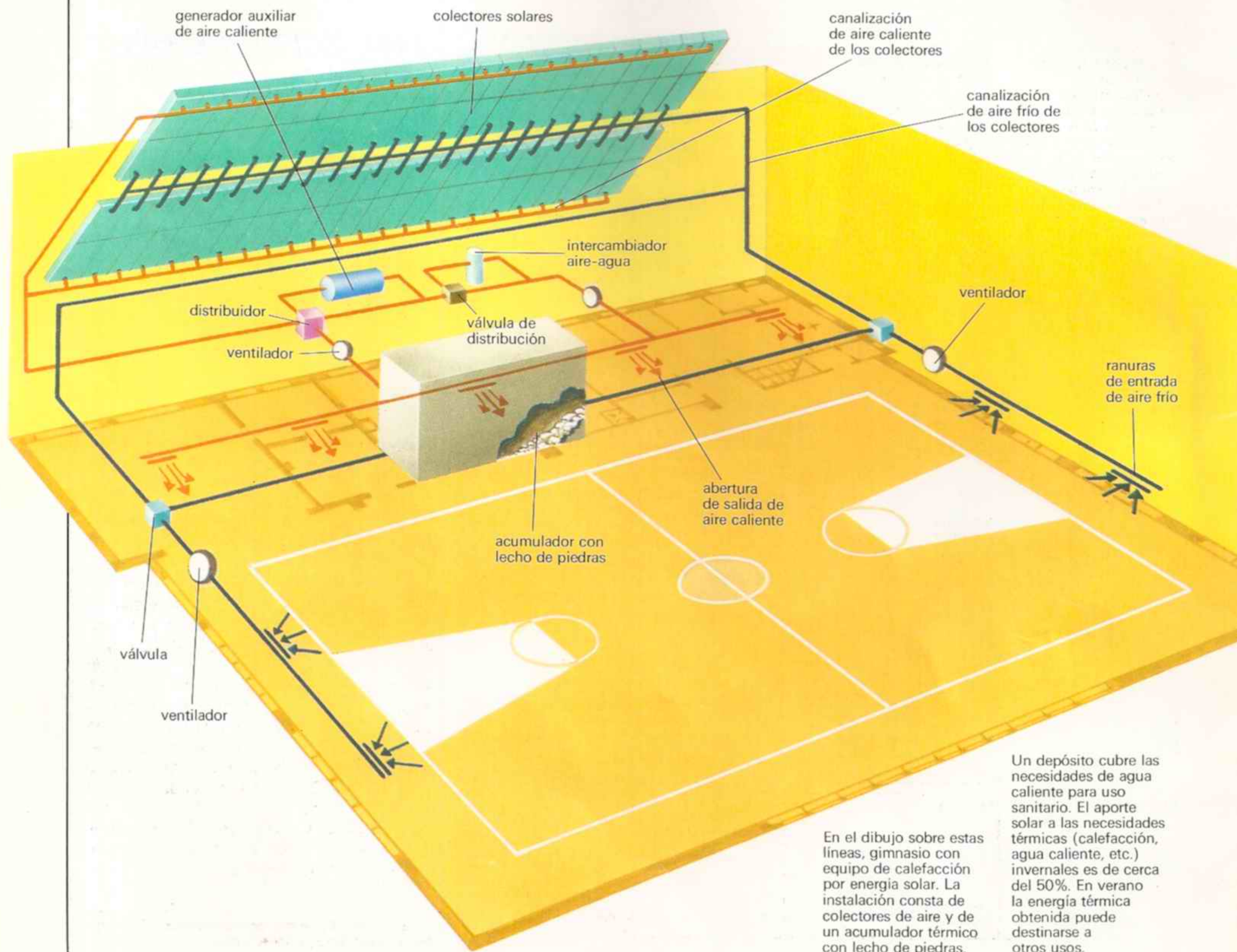
Prácticamente toda la energía de la Tierra proviene del Sol. Del Sol toman las plantas la energía que necesitan para realizar la fotosíntesis y transformar sustancias inorgánicas en orgánicas, las mismas que dieron origen al carbón y al petróleo. Del Sol toma energía la atmósfera: gracias a ella tienen lugar los fenómenos que originarán las lluvias y las nieves que alimentan las cuencas fluviales. Del Sol, en fin, reciben energía, directamente o transformada, todos los seres vivos que habitan el planeta.

La actual crisis energética ha hecho que notables científicos hayan pensado en el Sol como solución radical y final al presumiblemente cada día más grave problema energético. Y es que con una mínima parte de la energía que recibimos del Sol podrían ser sustituidas las actuales fuentes energéticas. El problema estriba, pues, en descubrir los mecanismos que permiten transformar su energía, acomodándola a nuestras necesidades.

El aprovechamiento de la energía solar se ha orientado en dos direcciones fundamentales: la primera, para su utilización como fuente de calor; la segunda, para la producción de electricidad. En cuanto a ésta, hace ya varios años que se utilizan grandes espejos curvos (parabólicos) que, a modo de grandes hornos, concentran los rayos solares en un punto, en el cual la temperatura alcanza valores muy elevados. Si se conecta en relación con este punto una red de tuberías por las que circule agua, se puede conseguir que ésta se transforme en vapor a alta presión, y, de esta forma, que sea capaz de mover las turbinas de una central generando grandes cantidades de energía eléctrica.

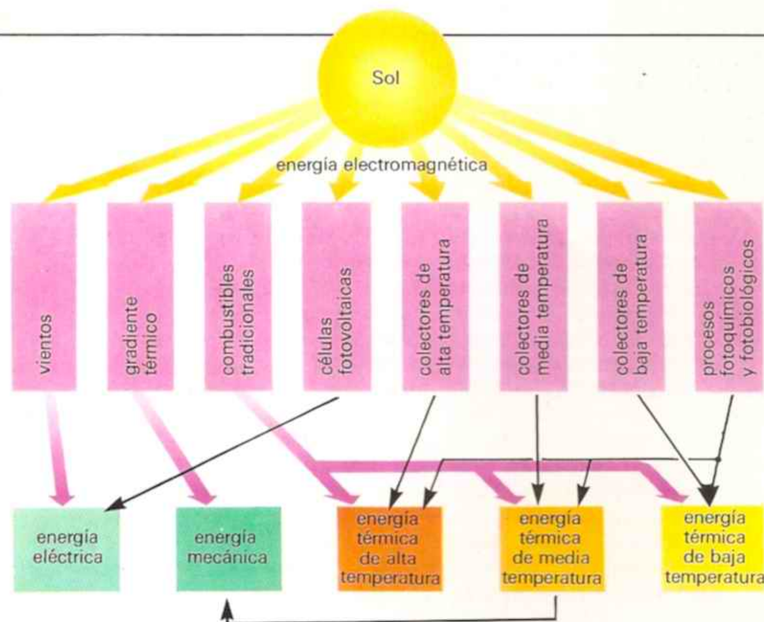
Sin embargo, para producir electricidad en cantidad apreciable, los *hornos solares* requieren grandes espejos curvos que ocupan superficies muy extensas y tienen un costo económico muy elevado, por lo que no pueden aplicarse hoy por hoy sino en plan experimental y sólo en zonas con muchas horas de sol.

Temperaturas mucho más bajas, pero con instalaciones también más sencillas, se consiguen con los llamados *colectores solares*. Este sistema consta de unos paneles formados por hojas metálicas que se sitúan en los tejados de los edificios o en lugares despejados, de forma que puedan recibir las radiaciones solares directamente y durante el mayor tiempo posible. Tras los paneles se instalan conducciones de agua, a las que se transfiere el calor. El agua caliente, al circular por las instalaciones de un edificio, puede suministrar calefacción o ser utilizada como tal. Estos sistemas, muy desarrollados en Israel, producen un considerable ahorro energético. Su instalación, cada vez más barata, suele




En el dibujo sobre estas líneas, gimnasio con equipo de calefacción por energía solar. La instalación consta de colectores de aire y de un acumulador térmico con lecho de piedras.

Un depósito cubre las necesidades de agua caliente para uso sanitario. El aporte solar a las necesidades térmicas (calefacción, agua caliente, etc.) invernales es de cerca del 50%. En verano la energía térmica obtenida puede destinarse a otros usos.



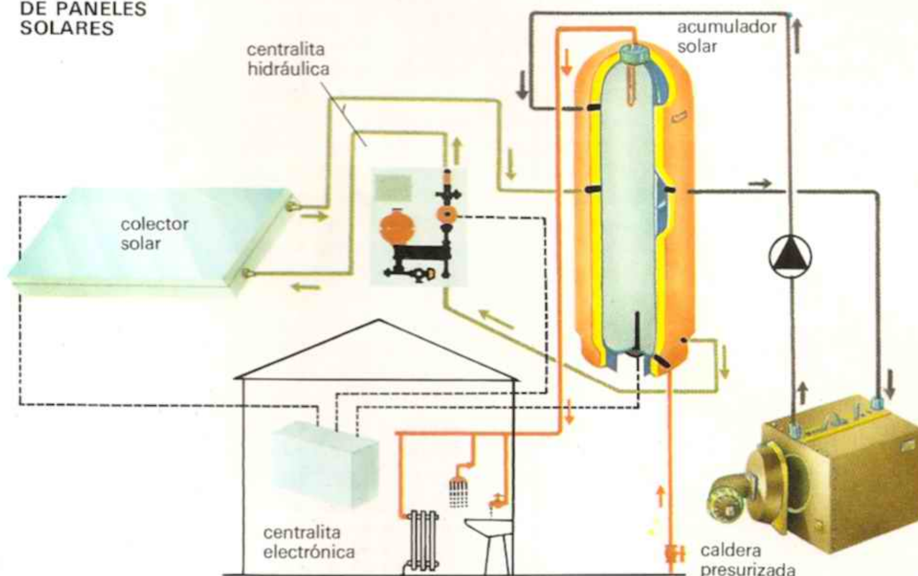

constar de un sistema mixto capaz de funcionar también por los métodos convencionales.

Menos desarrollada se encuentra la transformación directa de energía solar en energía eléctrica. Esta transformación se lleva a cabo mediante *células solares* (células fotovoltaicas), construidas con materiales capaces de transformar en electricidad las radiaciones solares. Las células fotovoltaicas, llamadas también *baterías solares*, transforman en energía eléctrica únicamente el 18% de la energía solar que reciben. Consisten en una delgada capa de silicio, de sulfuro de cadmio o de arseniuro de galio. Dicha capa ha sido tratada con otras sustancias, de modo que en una de las caras tiene carga negativa y en la otra positiva. Cuando es alcanzada por la luz solar, la lámina absorbe energía de los fotones (partículas de luz), provocando una traslación de las cargas negativas y positivas y produciéndose en el cristal una diferencia de potencial eléctrico bajo la acción de la luz. En la mayor parte de las aplicaciones prácticas es necesario conectar entre sí numerosas células para generar una potencia suficiente. La gran superficie física necesitada por tales sistemas es un obstáculo para su utilización. En cualquier caso, y aunque la explotación a gran escala de la energía solar aún no está resuelta técnicamente, no parece aventurado predecir que se hallará la forma de utilizar el recurso más disponible y universal; e incluso hay quienes afirman que algún día la mayor parte de la energía eléctrica consumida en nuestro planeta podrá proceder de centrales eléctricas solares situadas en órbita alrededor de la Tierra, donde las células solares ligeras recibirán energía durante las veinticuatro horas del día. La electricidad allí obtenida podría ser enviada mediante una antena de microondas a una estación receptora, donde las microondas serían transformadas en energía eléctrica.

En el diagrama superior se muestran las posibles transformaciones de la energía solar. La eficacia en la conversión de la energía solar en las distintas formas que adopta la energía (eléctrica, mecánica, térmica, etc.) es muy variable. La energía solar tiene ya hoy día importantes aplicaciones, incluso a gran escala. Esto no significa, sin embargo, que actualmente sea la panacea para resolver el problema energético mundial. La instalación de paneles solares que se recoge en el esquema bajo estas líneas es capaz de convertir energía solar en energía térmica a baja temperatura para la obtención de agua caliente, calefacción, etc. Estos paneles se sitúan en los tejados de los edificios y sus componentes básicos son: un colector solar (constituido por una batería para la captación solar, una envoltura externa de aluminio, un aislamiento térmico de espuma de poliuretano y un cristal de cobertura de alta resistencia), un soporte móvil que permite optimizar la exposición a los rayos solares, un acumulador solar, una centralita electrónica para el control a distancia del agua caliente, una centralita hidráulica de empuje del fluido entre el colector y el acumulador, y una caldera presurizada. En la fotografía de la derecha, una torre de energía solar. Varios equipos de investigadores trabajan en el campo de la energía solar, previéndose que se irán descubriendo sistemas que hagan posible su aprovechamiento de forma rentable y a gran escala.



**INSTALACION DE PANELES SOLARES**

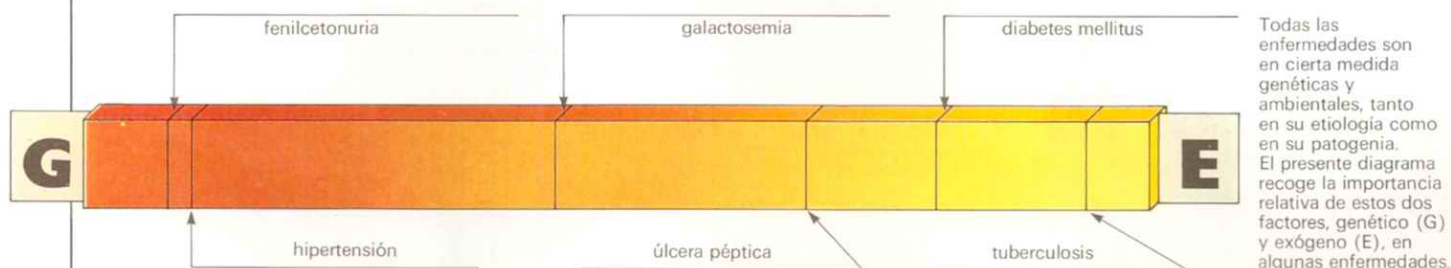



Véase **Energía, ahorro de; Energía eólica; Energía geotérmica; Energía maremotriz**

# Enfermedad

Todos los seres vivientes están compuestos por sistemas biológicos complejos y relacionados entre sí, que abarcan desde las actividades de una simple célula hasta las interacciones del sistema nervioso central y del sistema endocrino, los dos sistemas que regulan el organismo humano. Cuando todo funciona perfectamente, todos los sistemas están sincronizados y trabajan en un estado de armonía que podríamos definir como salud. Este estado de equilibrio se denomina *homeostasis*.

Si el equilibrio de funcionamiento de células y órganos es perturbado hasta el punto de presentar síntomas de una situación anormal, se dice que el organismo ha *enfermado*. Esta definición general de enfermedad comprende muchas y diversas manifestaciones, desde una excesiva multiplicación de las células (conocida con el nombre de *cáncer*), hasta la inflamación o la fractura de una pierna en un deportista. Se puede incluso tener una enfermedad durante años sin advertirla. Aunque una parte del organismo esté enferma, una persona puede no sentirse necesariamente enferma. Del mismo modo, un diabético cuya enfermedad haya sido diagnosticada y esté siendo tratado con insulina puede "creerse" sano.




Todas las enfermedades son en cierta medida genéticas y ambientales, tanto en su etiología como en su patogenia. El presente diagrama recoge la importancia relativa de estos dos factores, genético (G) y exógeno (E), en algunas enfermedades.

**Clasificaciones de las enfermedades** Una enfermedad puede ser *aguda* o *crónica*, *maligna* o *benigna*. Una enfermedad aguda de ordinario comienza de improviso y concluye rápidamente. Una enfermedad crónica comienza muy latente y dura un tiempo prolongado. Los términos *benigno* y *maligno*, que habitualmente se utilizan para describir los tumores, pueden ser empleados también en un sentido más general. Las enfermedades benignas generalmente carecen de complicaciones, y lo normal es que tengan un buen pronóstico (el resultado probable). Una verruga en la piel, por ejemplo, es un tumor benigno provocado por un virus. No origina graves trastornos y con frecuencia desaparece espontáneamente al cabo de cierto tiempo. La índole maligna de una enfermedad indica que es un trastorno fatal. *Cáncer* es el término que se aplica generalmente para los tumores malignos.

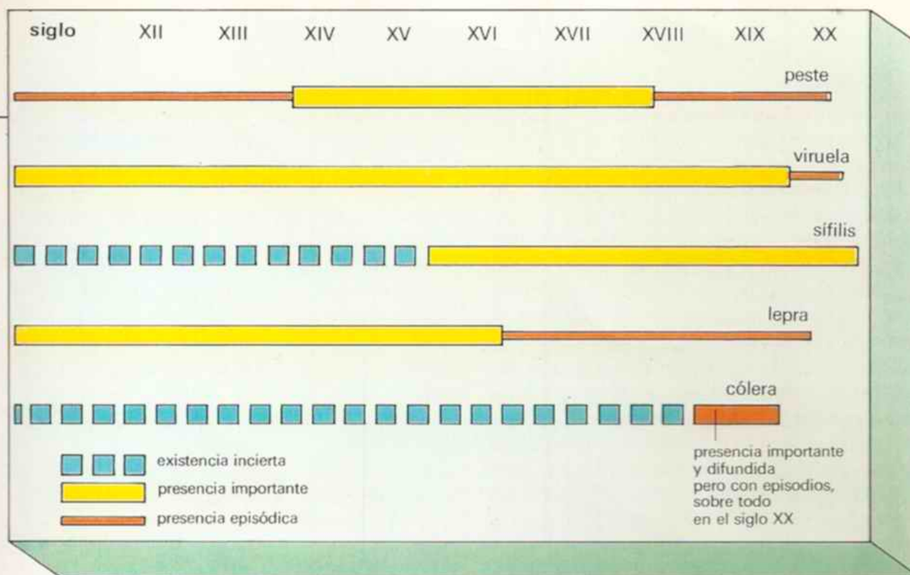
**Tipos de enfermedades** Una enfermedad puede tener distintas causas. Si tiene su origen en el interior del organismo propiamente dicho, se dice que es *primitiva*. Las enfermedades primitivas o primarias no son contagiosas, es decir, afectan sólo a un organismo individual y no se pueden transmitir a otro organismo. Las enfermedades no contagiosas pueden tener su origen en defectos del metabolismo presentes en el nacimiento, a veces transmitidos genéticamente, que provocan que el organismo no esté preparado para afrontar las exigencias de la vida diaria. Algunos defectos metabólicos pueden aparecer más tarde. La dolorosa enfermedad de las articulaciones conocida como *gota*, que con frecuencia afecta a personas de una cierta edad, es el resultado de una acumulación en las articulaciones de ácido úrico, un producto del metabolismo nitrogenado. Cuando el ácido úrico no es eliminado completamente por los tejidos, provoca hinchazón. La *diabetes mellitus*, que está originada por la insuficiencia del páncreas para sintetizar insulina, hace que el organismo sea incapaz de metabolizar adecuadamente los azúcares y las grasas.

Las enfermedades metabólicas pueden estar provocadas también por condiciones externas. El bocio es atribuible a la carencia de yodo en la dieta. Es una enfermedad frecuente en las regiones alejadas del mar, donde el pescado y la sal natural, ricos en yodo, son escasos. El bocio se reconoce fácilmente debido a que la glándula tiroides, en su esfuerzo por compensar la carencia de yodo, suele aumentar enormemente de tamaño, causando una hinchazón similar a un tumor en el cuello del paciente. El bocio, en consecuencia, es un típico ejemplo de enfermedad carencial. Otras enfermedades no contagiosas derivan de las sustancias tóxicas presentes en el ambiente, por lo general debidas a la propia acción del hombre. Las enfermedades ambientales (algunas de las cuales son conocidas incluso con el nombre de *enfermedades laborales* debido a que se originan por la exposición prolongada a sustancias tóxicas presentes en un determinado tipo de trabajo) son a menudo crónicas y pueden predisponer a un individuo a ulteriores enfermedades.

**Las enfermedades contagiosas** Un gran número de enfermedades está originado por la acción de los microorganismos vivientes que invaden el organismo desde el exterior. Se denominan *enfermedades infecciosas* porque están causadas por microorganismos transmisibles de una persona a otra, es decir, por agentes patógenos. Muchas enfermedades infecciosas son contagiosas debido a que el microorganismo pasa desde un organismo huésped a otro, y puede transmitirse de un ser humano a otro, como ocurre con el resfriado común o con las enfermedades venéreas, o bien puede pasar de un animal (llamado *agente vector*) al hombre, como sucede con el paludismo, que es transmitido por los mosquitos, o con la teniasis que se contrae por ingestión de carne de cerdo. El organismo —ya sea planta, animal o insecto— que es invadido por un agente patógeno se convierte en su *huésped*, y el invasor, si logra sobrevivir en el seno del huésped, se denomina *parásito*.

**La respuesta inmunitaria** Al igual que el resto de los organismos, el ser humano debe poseer unos mecanismos de defensa para conservar su homeostasis y por lo tanto la salud. El sistema de defensa inmunitario se encuentra muy desarrollado sólo en los vertebrados. El refinado sistema inmunitario reacciona a la invasión por parte de los agentes patógenos produciendo *anticuerpos*, complejas estructuras proteicas que se unen con los agentes patógenos y con los antígenos (cualquier sustancia que provoque una reacción específica por parte del sistema inmunitario) y los aíslan, provocando su neutralización y su destrucción. Los anticuerpos están producidos por los linfocitos (un tipo de glóbulo blanco de la sangre) y se liberan al torrente sanguíneo de manera que pueden alcanzar cualquier parte del cuerpo en la que estén presentes agentes patógenos y antígenos.

Dado que el sistema inmunitario tiene una especie de "memoria" que lo ayuda a reaccionar contra los antígenos ya conocidos de una manera más rápida y más eficaz en la segunda ocasión en que tales antígenos se presentan, los científicos, aprovechando esto, han puesto en práctica un método para inmunizar el cuerpo humano contra enfermedades conocidas. Así, cuando una cepa conocida de virus, una bacteria o una toxina es inyectada en nuestro organismo, se originan los anticuerpos contra el antígeno concreto de que se trate. Esto predispone al organismo para fabricar rápidamente los anticuerpos en respuesta a sucesivas exposiciones a aquel antígeno, incluso si se presenta bajo una forma aún más virulenta. Esta práctica, utilizada con éxito por primera vez con el virus vacunal, se denomina desde entonces *vacunación* y ha permitido disminuir la incidencia o eliminar algunas de las enfermedades más peligrosas, entre las que se encuentran la viruela, la poliomielitis y la fiebre tifoidea.




En el diagrama que aparece sobre estas líneas se observa la evolución de algunas importantes enfermedades epidémicas en el último milenio: solamente el cólera aparece en los últimos dos siglos y tras una evolución discontinua.

Abajo, un cuadro que recapitula las relaciones entre el ambiente, el agente patógeno y el curso de la enfermedad, con las posibles evoluciones hacia la curación, la encronificación o la muerte. En la parte inferior de esta página, el conjunto de las actividades preventivas, subdivididas en prevención primaria, secundaria y terciaria, a cada una de las cuales corresponden unas medidas específicas.

Las plantas, los insectos y otros animales son susceptibles a las enfermedades de la misma manera que los seres humanos, y reaccionan de modo parecido a las invasiones por parte de microorganismos, y además sufren enfermedades no contagiosas que podrían derivar de factores ambientales o constitucionales.

La carencia de principios nutritivos en el terreno en el que se encuentra una planta puede influir gravemente sobre la misma, de modo parecido a como un ser humano experimenta una insuficiencia alimentaria. Por otro lado, la maravillosa estriación de colores de los tulipanes está provocada por un virus que parece no tener efectos nocivos sobre la planta. La mosca común de la fruta puede tener un tipo de cáncer de la sangre. El salmón del Pacífico sufre graves trastornos metabólicos y hormonales durante su arduo viaje contracorriente para reproducirse, y a veces muere a consecuencia de sus esfuerzos para conseguir la reproducción. Después de un prolongado contacto con sustancias tóxicas presentes en el agua contaminada, muchos peces desarrollan tumores similares a los del hombre. Al igual que el hombre, estos organismos poseen sistemas inmunitarios que los protegen de las infecciones.

Del mismo modo que el hombre ha sido capaz de controlar muchas enfermedades contagiosas y no contagiosas, ha favorecido también la difusión de enfermedades contaminando el medio ambiente con agentes tóxicos y sustancias nocivas. Aunque los efectos inmediatos de estas sustancias no son tan dramáticos como los de una apendicitis aguda, su efecto a largo plazo deteriora las defensas del organismo, perturbando la natural homeostasis y haciéndolo más vulnerable a todo tipo de enfermedad.

Véase **Enfermedades hereditarias; Enfermedades infecciosas; Muerte**

**FASE QUE PRECEDE A LA ENFERMEDAD**

**FASES DE LA ENFERMEDAD**

interacciones entre agente patógeno y huésped

condiciones ambientales favorables a la expresión de la patogenicidad

fase preclínica

fase clínica

fase subclínica

fase clínica avanzada

curación

fase de cronicidad o muerte

| **medidas preventivas** | **diagnóstico precoz** | **tratamiento y rehabilitación** |
|---|---|---|
| promoción de la salud: higiene, alimentación<br>protecciones específicas: vacunas, terapias preventivas | exámenes clínicos<br>exámenes de masas<br>evaluaciones estadísticas<br>evaluaciones epidemiológicas | terapéutica farmacológica contemplada<br>terapéutica funcional rehabilitadora |
| **PREVENCION PRIMARIA** | **PREVENCION SECUNDARIA** | **PREVENCION TERCIARIA** |

# Enfermedades hereditarias

El origen de todas las enfermedades que padece la Humanidad radica en la acción de agentes ambientales o de causas hereditarias. En la mayoría de los trastornos intervienen influencias de estos dos tipos. Sin embargo, existen ciertas enfermedades en las que la participación de un agente agresor extraño al organismo es el origen del trastorno y explica la totalidad de los síntomas producidos; tal es el caso, por ejemplo, de las infecciones provocadas por virus, bacterias, hongos o parásitos, o de los padecimientos originados por agentes físicos, como las radiaciones ionizantes; o químicos, como las intoxicaciones producidas por ciertas sustancias. Existe otra categoría de trastornos en la que el origen del proceso, la llamada *etiología de la enfermedad*, radica en el propio individuo, más en concreto en la dotación genética del mismo; son éstas las denominadas *enfermedades hereditarias*.

La dotación genética está constituida por el conjunto de los genes que un individuo hereda de sus progenitores. Cada *gen*, o unidad funcional de la herencia, es un trozo de la larga molécula de ácido desoxirribonucleico y codifica la síntesis de una proteína específica. Los genes se agrupan entre sí formando unas estructuras celulares denominadas *cromosomas*, que pueden ser vistas al microscopio utilizando técnicas especiales.

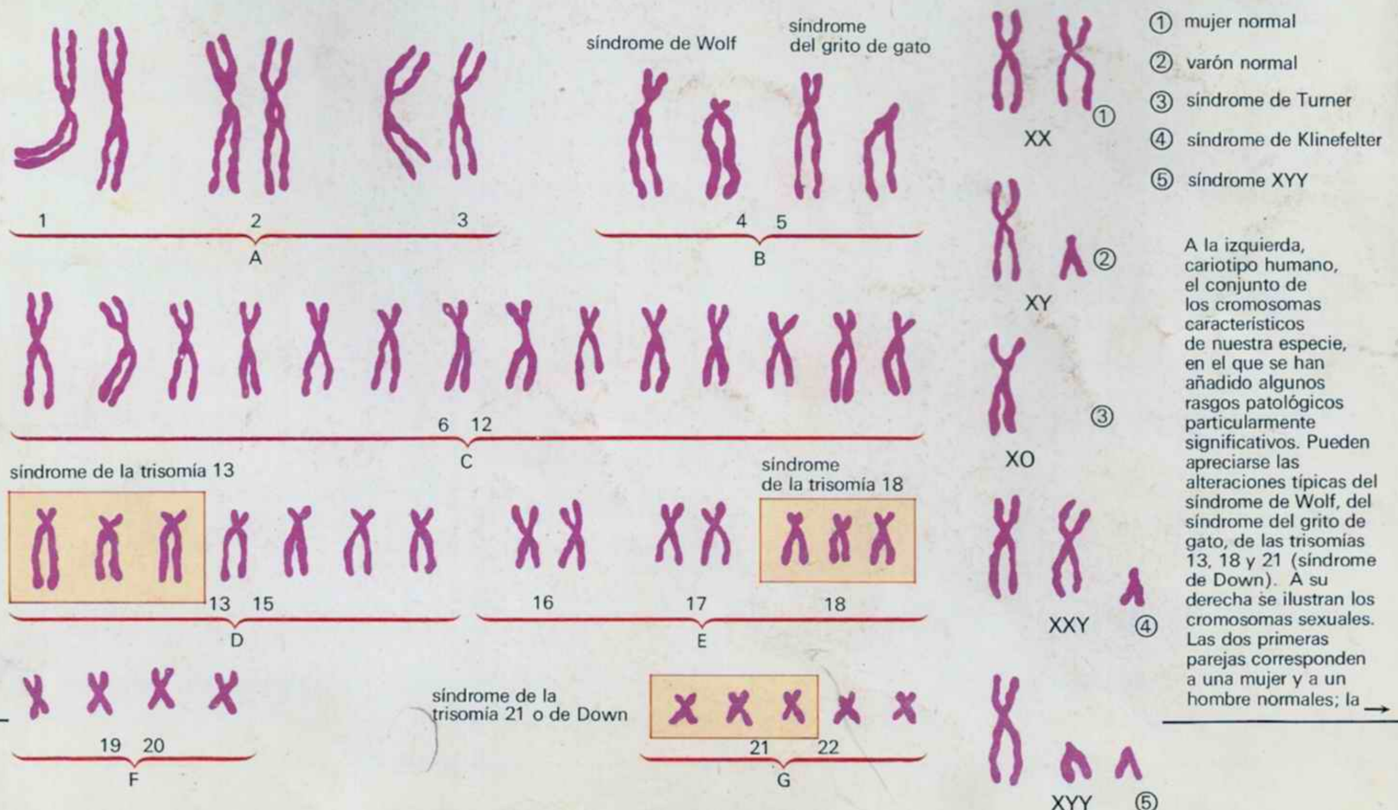
El conjunto de todos los cromosomas de una especie constituye lo que se denomina el *cariotipo*. El cariotipo humano, por ejemplo, está formado por 46 cromosomas, siendo tal número característico de la especie humana. De estos cromosomas, 44 se denominan *autosomas* y son los encargados de codificar las características somáticas del individuo (color del pelo, grupo sanguíneo, etc.), mientras que los 2 restantes son los *gonosomas* o *cromosomas sexuales*, cuya misión es determinar el sexo del individuo. Los cromosomas sexuales se designan con las letras X e Y. En la especie humana una dotación XX corresponde a la hembra, mientras que una dotación XY corresponde al varón.

Los genes pueden experimentar cambios o modificaciones de generación en generación. La mayor parte de estas modificaciones, llamadas *mutaciones*, no son peligrosas, sino que más bien son beneficiosas, pues brindan a la especie la capacidad de adaptarse mejor al ambiente. A veces, sin embargo, estas modificaciones son extremas y llegan a originar una enfermedad que se manifiesta clínicamente en una persona y que además, por radicar en la dotación genética, puede ser transmitida a su descendencia.

**Tipos de enfermedades hereditarias** Resulta difícil establecer una clasificación adecuada de las enfermedades hereditarias, dado que se conocen más de dos mil trastornos de este tipo. En términos generales podemos clasificar estas enfermedades en dos grandes grupos: alteraciones de los cromosomas y alteraciones de los genes.

El primer grupo, *alteraciones de los cromosomas*, incluye todos los trastornos en los que puede detectarse un exceso o defecto en el número de los cromosomas, o bien la presencia de anomalías estructurales en uno o más cromosomas. En cualquiera de estos casos, existe una cantidad deficitaria o excesiva de material genético, lo que ocasiona tal enfermedad. A este grupo pertenece una de las enfermedades hereditarias más conocidas, como es el síndrome de Down o mongolismo. Este trastorno se produce por la presencia de un cromosoma en exceso, por lo que también se denomina *trisomía 21*, ya que están presentes 3 cromosomas en posición 21 en lugar de 2 que sería lo normal. Como consecuencia de ello, los niños afectos sufren un severo retraso mental acompañado de importantes alteraciones físicas. Se conocen también otras alteraciones cromosómicas más raras que el síndrome de Down, como son las trisomías 13 y 18 y el síndrome del grito de gato. Las alteraciones en el número de los cromosomas también pueden afectar a los cromosomas sexuales, produciéndose así algunas anomalías severas, entre las que destacan el síndrome de Turner, en el que falta un cromosoma sexual (cariotipo XO), y el síndrome de Klinefelter, que se caracteriza por presentar un cromosoma sexual en exceso (cariotipo XXY).

El segundo gran grupo de enfermedades hereditarias está formado por *alteraciones de los genes*. Una pequeña mutación de un solo gen puede dar origen a una enfermedad severa. En esta ocasión, dado que sólo se afecta un gen o un reducido número de ellos, no se altera ni el número ni la estructura de los cromosomas y, por lo tanto, estas enfermedades no pueden detectarse analizando el cariotipo. Estas anomalías se clasifican en *autosómicas*, cuando el gen que causa la enfermedad está asentado en un autosoma, y *gonosómicas* o *ligadas al sexo*, cuando el gen alterado pertenece a un cromosoma sexual. Las enfermedades hereditarias autosómicas, a su vez, pueden ser dominantes o recesivas. Se dice que un trastorno es *recesivo* cuando un individuo necesita recibir el gen anómalo de ambos progenitores para que la enfermedad se manifieste; si, por el contrario, basta con que se transmita el gen alterado por uno sólo de los progenitores para que la enfermedad sea apreciable, se dice que el trastorno es *dominante*.




A la izquierda, cariotipo humano, el conjunto de los cromosomas característicos de nuestra especie, en el que se han añadido algunos rasgos patológicos particularmente significativos. Pueden apreciarse las alteraciones típicas del síndrome de Wolf, del síndrome del grito de gato, de las trisomías 13, 18 y 21 (síndrome de Down). A su derecha se ilustran los cromosomas sexuales. Las dos primeras parejas corresponden a una mujer y a un hombre normales; la →

La mayoría de las enfermedades autosómicas dominantes poseen dos características que no se observan en los síndromes recesivos: suelen comenzar en una edad avanzada de la vida y presentan una gran variabilidad en sus manifestaciones. Ejemplos de estos trastornos los constituyen la hipercolesterolemia familiar (anomalía del metabolismo del colesterol) y algunas anemias familiares.

Las enfermedades autosómicas recesivas aparecen con mayor frecuencia en hijos de padres consanguíneos; suelen diagnosticarse en la infancia y presentan manifestaciones más uniformes que los trastornos dominantes. La fenilcetonuria, un error innato del metabolismo, constituye un ejemplo de enfermedad transmitida según una herencia autosómica recesiva. Consiste este trastorno en una imposibilidad de metabolizar la fenilalanina, un aminoácido presente en muchos alimentos. En los aquejados por esta enfermedad, la fenilalanina se acumula en el organismo y actúa como un tóxico.

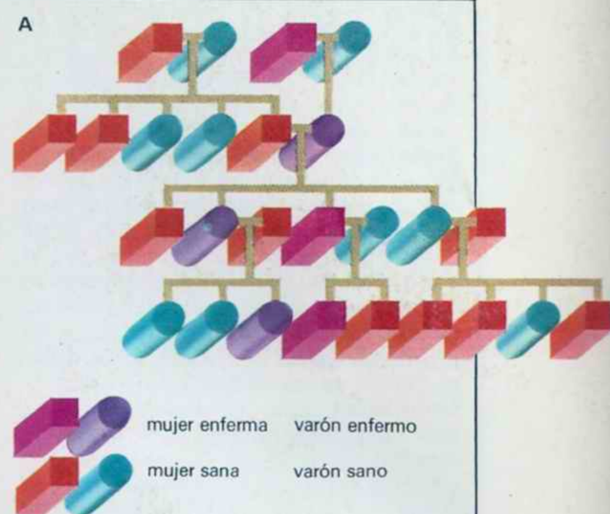
Las enfermedades ligadas al sexo suelen transmitirse a través del cromosoma X. Este es el caso de la hemofilia, un trastorno consistente en la ausencia de uno de los factores necesarios para que se produzca la coagulación de la sangre. El paciente hemofílico puede sufrir fuertes hemorragias ante traumatismos mínimos y necesita que se le administre continuamente el factor de la coagulación del que es deficitario. La hemofilia se transmite ligada al cromosoma X, de modo que la enfermedad es transmitida por las mujeres y padecida por los hombres, ya que estos últimos sólo poseen un cromosoma X.

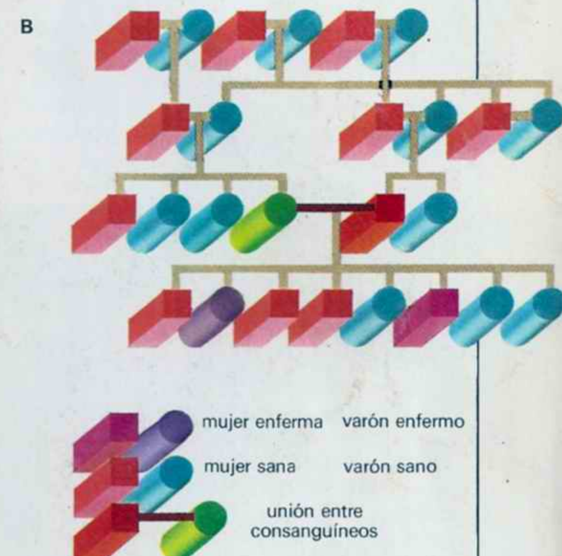
**Prevención de las enfermedades hereditarias: consejo genético** La prevención de las enfermedades hereditarias requiere la identificación de matrimonios o parejas potencialmente capaces de transmitir un trastorno. La identificación se consigue generalmente a través de un hijo o un pariente aquejado por dicho mal. En estos casos el consejo genético consiste en advertir a los miembros de la familia sobre el riesgo de transmitir una determinada enfermedad que ya ha afectado a un miembro, y en calcular, dentro de lo posible, la probabilidad de que esto ocurra. Recientemente se han desarrollado algunas técnicas de identificación de personas portadoras sanas, es decir, sujetos que poseen un determinado gen anómalo que en ellos no provoca enfermedad, pero que podría producirla en alguno de sus descendientes.

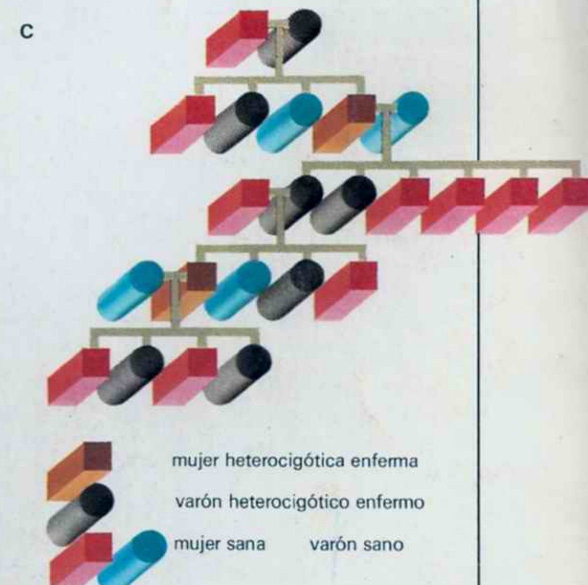
**El tratamiento de las enfermedades hereditarias** El tratamiento de las enfermedades hereditarias depende de la naturaleza y gravedad de cada proceso. Así, por ejemplo, en la fenilcetonuria, el tratamiento consiste en evitar la ingestión de fenilalanina en la dieta; en la hemofilia, es preciso aportar el factor de la coagulación que falta; en otros trastornos son necesarias intervenciones quirúrgicas o trasplantes de órganos. En cualquier caso, el tratamiento de una enfermedad hereditaria tiene como finalidad conseguir que la persona aquejada pueda llevar una vida confortable a pesar de portar un genotipo alterado.

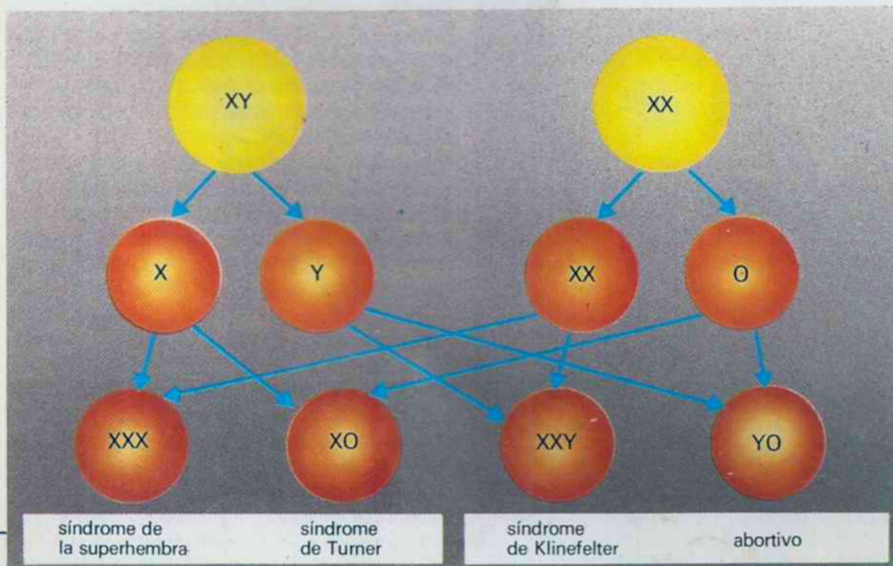
Véase **Biología molecular; Bioquímica; Célula; Cromosoma; Enfermedad; Gen; Genética; Hemofilia; Herencia; Malformaciones congénitas**

→ tercera, a la alteración presente en el síndrome de Turner; la cuarta pareja corresponde al síndrome de Klinefelter, con duplicación del cromosoma X, y la quinta se refiere al síndrome XYY. En esta página, a la derecha, de arriba abajo: A) árbol familiar con enfermedad hereditaria dominante: a cada paciente enfermo corresponde un progenitor enfermo e hijos sanos; B) árbol familiar con enfermedad recesiva: progenitores normales y ausencia de transmisión vertical; C) árbol familiar de enfermedad ligada al cromosoma sexual, con transmisión sólo femenina. Abajo, esquema de los síndromes de la superhembra, de Turner, de Klinefelter, y un tipo abortivo.



# Enfermedades infecciosas

La Medicina occidental —desde la época griega hasta el siglo XVIII— se basaba en la convicción de que las enfermedades estaban provocadas por la ausencia de equilibrio entre los cuatro humores fundamentales del organismo: la sangre, la flema, la bilis y las heces. Los pacientes eran sometidos a sangrías, eran forzados a vomitar, a sudar y sistemáticamente se les administraba purgas: todo ello con el consentimiento del enfermo. Sólo recientemente se ha llegado a comprender que la causa de algunas enfermedades son los microorganismos: bacterias y virus. Incluso cuando ya era evidente que ciertas enfermedades, como por ejemplo la peste, eran contagiosas, el concepto de "infeccioso" no fue aplicado hasta el momento en que se descubrieron los *gérmenes*, es decir, los agentes que causaban estas enfermedades.

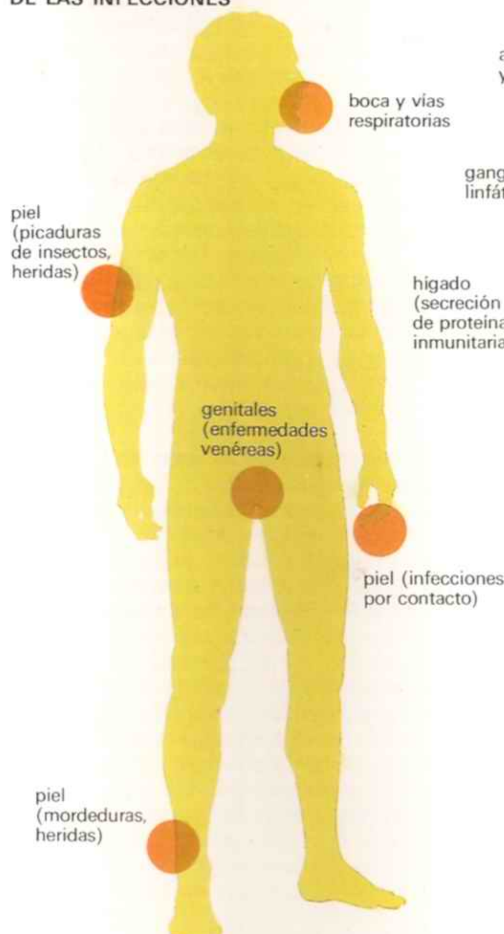
Las enfermedades infecciosas pueden definirse como la expresión del estado patológico subsiguiente al arraigamiento del microbio que ha penetrado en el organismo, y se clasifican en función del tipo de microorganismo que las origina, que puede ser un metazoo, un protozoo, un microfito, una bacteria o un virus. El mecanismo con el cual los gérmenes producen alteraciones en el organismo varía con la especie: los pertenecientes a los metazoos (gusanos y artrópodos) determinan una particular infección; los protozoos, hongos y bacterias producen manifestaciones morbosas porque elaboran sustancias tóxicas (toxinas). En algunos casos, la acumulación de los microorganismos en los tejidos y en los órganos determina alteraciones por simple acción mecánica (émbolos bacterianos) o incluso por sustracción de materiales nutritivos.

Las enfermedades infecciosas comprenden diferentes trastornos que abarcan desde el resfriado común a las enfermedades venéreas, la poliomielitis, la mononucleosis, etc. Los microorganismos que las provocan pueden transmitirse a través de tres vías: mediante el aire *(infecciones aerógenas)*, mediante el agua y los alimentos, y por contacto directo.

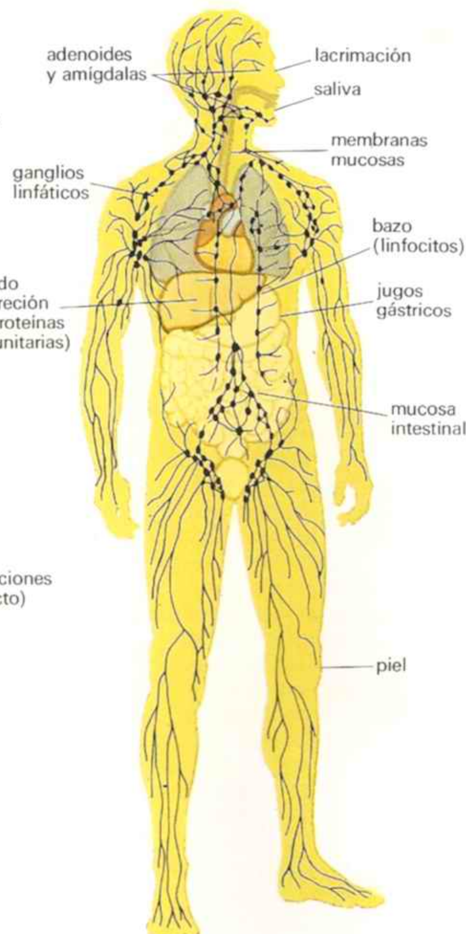
**Las infecciones aerógenas** Son las que originan las enfermedades respiratorias. En efecto, los gérmenes son inhalados a través de la boca y la nariz, y alcanzan los pulmones. La infección se transmite a través de las gotitas de moco que se emiten con la tos o el estornudo del paciente infectado. Entre estas enfermedades encontramos el resfriado común, la gripe, la difteria, la escarlatina, la tuberculosis, la pulmonía, la tos ferina, la varicela, el sarampión y la parotiditis. Algunas de estas enfermedades son muy contagiosas debido a que los gérmenes se dispersan rápidamente en el aire y, una vez invadido el árbol respiratorio, se difunden a todo el organismo, generalizando la infección.

**Infecciones por agua y alimentos contaminados** Muchas enfermedades gastrointestinales son transmitidas por el agua y los alimentos contaminados por los portadores de la infección. A veces el tránsito de los microoganismos es distinto: los excrementos del portador sano o enfermo contaminan el agua y los alimentos que posteriormente van a consumirse. Los gérmenes pueden ser también transmitidos por moscas, mosquitos, artrópodos u otros vectores. Entre estas enfermedades se encuentran la fiebre tifoidea, la disentería bacilar, la disentería amebiana, el cólera, la poliomielitis y la hepatitis vírica. Para combatir estas afecciones son necesarias rigurosas medidas sanitarias con objeto de impedir el contagio, ya que, como sucede en el caso de las enfermedades respiratorias, es frecuente que el portador, al inicio de la infección o al final de esta, aunque no presente los síntomas de la enfermedad, sea capaz de transmitirla.

**PUNTOS DE PENETRACION DE LAS INFECCIONES**




**DEFENSAS CONTRA LAS INFECCIONES**




**Enfermedades infecciosas por contacto directo** A esta tercera categoría de enfermedades infecciosas pertenecen las transmitidas por contacto directo entre el individuo infectado y la persona sana. A este apartado pertenecen las enfermedades venéreas (gonorrea, sífilis), transmitidas por contacto sexual.

Por último, es preciso recordar que muchas infecciones debidas a estreptococos y estafilococos se transmiten directamente de persona a persona a través de objetos de uso diario, como los de la vajilla. La infección también puede producirse a partir de heridas, cortes y abrasiones de la piel; el impétigo y la dermatitis purulenta son típicas infecciones producidas por estreptococos.

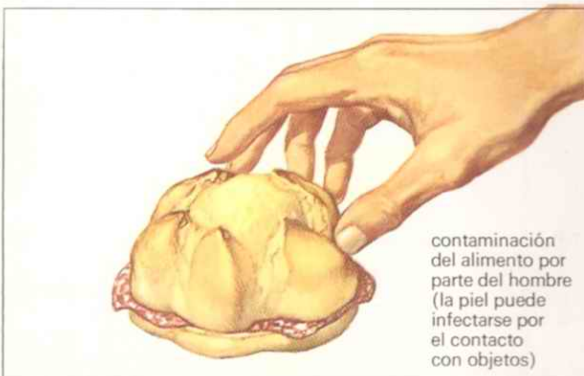
**Prevención y tratamiento** La defensa contra las enfermedades infecciosas graves se fundamenta, en primer lugar, en la profilaxis; las medidas profilácticas son dictadas por las legislaciones de todos los países y se basan en una serie de criterios fundamentales: información a las autoridades sanitarias de los casos de enfermedades infecciosas graves, y especialmente en caso de epidemia; aislamiento de las fuentes de infección; destrucción de los agentes patógenos (es decir, desinfección); desratización, y destrucción de los vectores (es decir, desinsectación); vacunación de la población contra las enfermedades más frecuentes, etcétera.

En cuanto al tratamiento de este tipo de enfermedades, éste se ha visto facilitado con el descubrimiento y desarrollo de los quimioterápicos y de los antibióticos, que han hecho descender drásticamente la mortalidad causada por este tipo de enfermedades.

Véase **Enfermedad; Enfermedades venéreas**



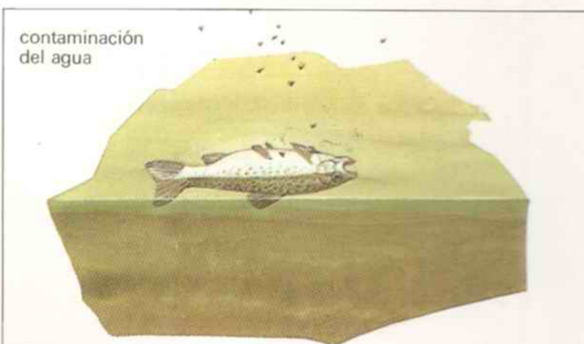
El contacto directo entre un individuo sano y otro enfermo puede ser un vehículo de infecciones



contaminación del alimento por parte del hombre (la piel puede infectarse por el contacto con objetos)



alimento contaminado por los insectos



contaminación del agua

## MECANISMO DE DESARROLLO DE UNA INFECCION INTESTINAL

ESTOMAGO

el bacilo tífico penetra en la sangre

INTESTINO

cólera, disentería, salmonela

el bacilo tífico ataca las paredes intestinales y penetra en la sangre

las toxinas actúan en las paredes intestinales provocando diarrea

los excrementos infectados penetran en el ciclo externo, originando infecciones si existen malas condiciones higiénicas

El cuerpo humano se defiende del ambiente exterior mediante varios sistemas, entre los que destacan el sistema tegumentario, con una función mecánica de barrera, y el sistema linfático, que desempeña un papel muy importante en el ámbito de la respuesta defensiva a los procesos infecciosos. En las imágenes de la página anterior, la de la izquierda nos muestra los puntos de penetración de los microorganismos que pueden causar una patología infecciosa. Pueden apreciarse la cavidad bucal, la piel, sobre la que puede desarrollarse un proceso infeccioso por contacto, por picaduras, mordeduras o heridas, y los órganos genitales, a través de los cuales pueden contraerse varias enfermedades venéreas. La otra figura, la de la derecha, representa el sistema linfático. En el esquema que aparece sobre estas líneas se ilustra el mecanismo de desarrollo de una infección gastrointestinal. Este tipo de infecciones se considera como un típico ejemplo de la patología infecciosa

A su izquierda se destacan las posibles fuentes de la infección: el agua infectada, el alimento contaminado, el contacto con un alimento infectado y el contacto directo entre un individuo sano y otro infectado.

# Enfermedades tropicales

A finales del siglo XIX, los franceses intentaron la construcción de un canal a través del istmo de Panamá. El proyecto fue abandonado debido, en parte, a que los trabajadores de la citada obra fueron diezmados por una misteriosa enfermedad tropical. Se trataba de la fiebre amarilla, una infección causada por un virus (y transmitida por una especie de mosquitos denominada *Aedes aegypti*), que se caracteriza por fiebre, ictericia y vómitos.

La transmisión de la fiebre amarilla por el citado mosquito fue sugerida a mediados del siglo XIX por el médico venezolano Daniel F. Beauperthuy (1808-1871) y demostrada, en la segunda mitad de la centuria, por el cubano Carlos J. Finlay (1833-1915). Por tanto, desecando los cenagales de reproducción de los citados mosquitos, esta enfermedad podía mantenerse bajo control, y ello hizo posible la terminación de las obras de construcción del canal de Panamá, en 1914. En 1927 se descubrió su agente causal, un virus. Este descubrimiento señaló un gran avance en el campo de la *Medicina tropical*, especialidad que se ocupa de docenas de enfermedades comúnmente difundidas en las regiones cálidas, en particular en las zonas comprendidas entre el trópico de Cáncer y el trópico de Capricornio, infectadas de insectos y de parásitos. Las enfermedades de estas regiones se dividen en tres categorías básicas: enfermedades provocadas por microorganismos, enfermedades originadas por gusanos y enfermedades debidas a carencias dietéticas (como el beriberi y el raquitismo).

**Lepra** Si bien la lepra no puede ser considerada como una enfermedad tropical propiamente dicha, es en las zonas tropicales donde actualmente su incidencia es mayor.

Causada por microorganismos denominados *bacilos de Hansen*, sus primeros síntomas, que a veces necesitan hasta veinticinco años de incubación para manifestarse, son unas manchas coloreadas en la piel, con zonas de pérdida de la sensibilidad, o nódulos pequeños y duros que aparecen en el rostro o en las piernas y pies. La destrucción de los tejidos nerviosos puede producir atrofia muscular e insensibilidad para las heridas y quemaduras, hecho que lleva a la desfiguración típica de la lepra.

La necrosis de los tejidos, finalmente, puede originar mutilaciones, como la pérdida de los dedos o la destrucción de la córnea, con la ceguera consecuente. Las desesperadas condiciones de abandono en que se encontraban estos enfermos en tiempos pasados han sido mejoradas con la creación de las modernas leproserías.

Tradicionalmente el fármaco más eficaz contra la lepra era el aceite de chaulmoogra, extracto de las semillas de un árbol de la India Oriental, pero en los tratamientos modernos se utilizan antibióticos y sulfamidas.

**Paludismo** Antes de la aplicación a escala mundial del programa coordinado de la Organización Mundial de la Salud, el paludismo (llamado también *malaria*) causaba la muerte de unos 3 millones de personas al año. Al igual que la fiebre amarilla, el paludismo es transmitido por los mosquitos. Sin embargo, en lugar de un virus, el agente infeccioso es un protozoo, que origina una fiebre debilitante, escalofríos, delirio y, en el 50% de los casos, la muerte.

En el siglo XVII los españoles descubrieron que los indios del Perú utilizaban la quinina, un estracto de la corteza del árbol de la quina, para aliviar la fiebre. La quinina se convirtió así en el primer agente antipalúdico hasta la II Guerra Mundial, cuando se inicia la producción de fármacos sintéticos.

**Rickettsiosis** Las rickettsiosis son un grupo de enfermedades transmitidas al hombre por piojos, pulgas, garrapatas y ácaros. Estas enfermedades se presentan con mayor frecuencia en el seno de poblaciones que viven en condiciones precarias desde el punto de vista higiénico y de hacinamiento. Cuando los organismos microscópicos, denominados *rickettsias*, son transmitidos por estos parásitos, la enfermedad se manifiesta con fiebre violenta, erupciones cutáneas y síntomas de pulmonía. Para la prevención de estas enfermedades se debe llevar a cabo un control sobre los mosquitos transmisores de numerosas enfermedades tropicales, y sobre los parásitos portadores del tifus, del mismo modo es preciso prestar atención a los piojos y a los otros parásitos.

Para el tratamiento de las rickettsiosis se utilizan antibióticos, y ya se han producido vacunas para las formas epidémicas.

**Jungle rot** Un variado número de diferentes úlceras epidérmicas difundidas en las regiones cálidas, en particular en las zonas tropicales húmedas, se agrupan en una sola categoría: *jungle rot* (podredumbre de la Selva).

Estas úlceras pueden estar provocadas por hongos o por parásitos monocelulares que invaden las pequeñas heridas cutáneas, especialmente en las personas con fuerte carencia de vitaminas.

Si no se someten a tratamiento, estas llagas pueden crecer transformándose de minúsculas en enormes vesículas, úlceras malolientes que destruyen los tejidos hasta llegar a los huesos. Los antibióticos con-

**DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE ALGUNAS PARASITOSIS**

| | amebiasis | anquilostomiasis | distomatosis pulmonar | dracunculosis | distintas filariasis | leishmaniasis cutánea | leishmaniasis visceral | paludismo | enfermedad de Chagas | neumocistosis | esquistosomiasis mansónica | esquistosomiasis vesical | texoplasmosis | tricomoniasis vaginal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Europa meridional | • | • | | | | • | • | | | • | | | • | • • |
| Noroeste de Africa | • • | • | | | | • | • | • | | • | | • | • | • • |
| Noreste de Africa | • • | • • | | • | | • | • • | • | | • | • • | • • | • | • • |
| Sudeste de Africa | • • | • • | | • | • • | | | • • | | • | • | • • | • | • • |
| Africa occ. y central | • • | • • | • | • • | • • | • | • | • • | | • | • • | • • | • | • • |
| Africa del Sur | • | • • | | | • | | | • | | • | • | • | • | • • |
| Oriente Medio | • • | • | | • | • | • • | • | • • | | • | • | • | • | • • |
| India | • • | • • | | • • | • • | • • | • • | • • | | • | | • | • | • • |
| Sudeste asiático | • • | • • | • | | • • | • | • | • • | | • | | | • | • • |
| Oceanía | • | • • | | | • • | | | • | | • | | | • | • • |
| América tropical | • • | • • | • | | • | • | • | • | • • | • | • | | • | • • |
| Caribe | • | • • | | | • | | | • | | • | • | | • | • • |

Claves: • Incidencia apreciable • • Incidencia fuerte

A la izquierda, un diagrama de la distribución mundial de las parasitosis. Como se sabe, el área tropical permite la existencia y la difusión de un gran número de especies animales, que pueden hacerse portadoras de los agentes infecciosos que no tendrían la posibilidad de sobrevivir en un ambiente térmica y químicamente hostil, como es el de los climas fríos, para este tipo de seres microscópicos. Algunas enfermedades tropicales difundidas en Europa meridional, como el paludismo, han sido totalmente erradicadas de esa región; aquellas enfermedades cuya difusión depende del contacto humano directo están, por el contrario, muy difundidas en la actualidad.

T. brucei

T. brucei

① transmisión tras un ciclo de desarrollo en las *glossinas*

*glossinas*

T. brucei

T. brucei

T. rhodesiense

② transmisión mecánica

tábano

① transmisión tras un ciclo de desarrollo en las *glossinas*

T. evansi

T. evansi

T. evansi

③ transmisión por contacto sexual

T. equiperdum

T. gambiense

En el esquema sobre estas líneas se ve cómo tiene lugar la transmisión de algunos tripanosomas del grupo del *T. brucei*. La *glossina* toma el parásito de la fuente endémica (un bóvido) y lo retiene en su cuerpo, en el que desarrolla → una parte de su ciclo vital, tras lo cual es inyectado en la sangre de otros animales, entre ellos el hombre. El tábano (en el centro), por el contrario, realiza únicamente un transporte mecánico; finalmente, se puede producir la difusión, incluso por contacto sexual en los animales.

trolan eficazmente tales infecciones, pero en muchas regiones de Asia, de Africa y de América Latina éstos escasean, y son precisamente las zonas donde los pacientes con úlceras crónicas son numerosos, dadas las míseras condiciones de vida.

Entre las enfermedades de este tipo más frecuentes se encuentran: la *frambesia*, que es una infección producida por el *Treponema pertenue* y que afecta al hombre casi siempre en la infancia, produciendo lesiones cutáneas, óseas y articulares, que con el tiempo llegan a ser destructivas y deformantes, el *pie de madura*, micosis crónica generalizada que aparece después de una implantación traumática o inadvertida de la piel. Se caracteriza por hinchazón, induración, supuración y trayectos fistulosos en la piel, tejido subcutáneo y huesos, típicamente en los pies; por último, la *fiebre de Oroya*, enfermedad bacteriana transmitida por insectos y limitada a América del Sur. Se trata de una infección febril grave, acompañada de anemia intensa, dolores osteoarticulares y bacteriemia. Está causada por la *Bartonella bacilliformis*.

**Elefantiasis** Las filarias, gusanos filiformes del orden de los Espiruroides, están en relación con un grupo de enfermedades particularmente graves y estéticamente desagradables, que se manifiestan en Africa Central, en las regiones costeras de Asia y en las islas del Pacífico. Algunas de las especies de filarias son capaces de vivir parasitariamente en el organismo humano, dando origen a una serie de manifestaciones patológicas que se conoce con el nombre de *filariosis*. Uno de esos gusanos parásitos, la *Wurchereria bancrofti*, provoca un terrible agrandamiento de algunas partes del cuerpo, condición a la que se ha dado el nombre de *elefantiasis*. El hombre es infectado por la picadura de un mosquito en cuyo cuerpo anidan larvas del gusano, seguidamente éstas penetran debajo de la piel y emigran hacia el sistema linfático, donde completan su evolución hasta transformarse en gusanos adultos, que se instalan en los canales linfáticos y bloquean la circulación de la linfa, originando hinchazón (edema) y grandes inflamaciones en brazos, piernas e incluso en el escroto.

La elefantiasis no es una enfermedad mortal, pero el agrandamiento de los tejidos es permanente y doloroso. Existen fármacos que destruyen los gusanos, pero una adecuada Medicina preventiva incluye como principal medida la eliminación de los mosquitos transmisores.

Veáse **Parásitos**

El diagrama muestra cómo se desarrolla el ciclo biológico del *Schistosoma mansoni* y los movimientos que dan lugar al contagio. En ambientes pantanosos, las cercarias pueden efectuar una penetración activa a través de la piel del hombre. Aquí se desarrollan hasta que llegan a trematodos adultos, que son capaces de poner huevos. El ciclo es el descrito arriba. Los huevos se eliminan con las heces e infectan las aguas. Aquí se liberan los miracidios, que penetran en los moluscos del ambiente acuático o húmedo, y, en su cuerpo, se forman los esporoquistes que, a su vez, pueden infectar al hombre. En el tracto saliente del ciclo del hombre, las cercarias, que son capaces de infectarlo por ingestión directa de las aguas; arriba, formas a través de las que tiene lugar la maduración de los esquistosomas en el hígado humano.



# Enfermedades venéreas

Se definen como *enfermedades venéreas* aquellas que se transmiten por contacto directo, de persona a persona, sobre todo en las relaciones sexuales (de ahí su nombre, de Venus, diosa del amor). En la actualidad puede afirmarse que, junto al resfriado común, las afecciones transmitidas con la relación sexual representan el grupo de enfermedades infecciosas más importante de la Humanidad.

No obstante, para muchas de ellas, especialmente para aquellas que tradicionalmente han sido consideradas las enfermedades venéreas por excelencia —la sífilis, la blenorragia—, las conquistas de la Medicina han permitido un control de los casos y su solución mediante una terapéutica adecuada.

Los numerosos antibióticos activos contra estas infecciones y el uso masivo que se hace de ellos han atenuado los cuadros clínicos tradicionales, haciendo adoptar a las enfermedades venéreas cursos atípicos y con escasa sintomatología. Desde un punto de vista médico, son numerosas las enfermedades transmitidas por vía sexual y con propiedad definibles como enfermedades venéreas, aunque las más importantes son la gonorrea, la sífilis, el herpes genital y la uretritis específica. En este grupo de enfermedades se encuadran también la vaginitis, las verrugas vaginales, la pediculosis púbica, la sarna, etcétera.

**El herpes genital** Causado por el *Herpesvirus hominis tipo II*, el herpes se manifiesta en el hombre, tras un período de incubación muy variable, por pequeñas erupciones puntiformes agrupadas en racimo, que se asientan sobre una placa eritematosa poco visible y están situadas sobre el prepucio o el glande del pene. En la mujer, esta infección se manifiesta en forma de vulvovaginitis muy dolorosa, acompañada de síntomas generales (fiebre, molestia general, etc.). La mucosa vulvovaginal aparece roja, inflamada y cubierta de vesículas arracimadas.

Un problema grave es el herpes genital recidivante, es decir, la repetida aparición de brotes sucesivos de herpes genital simple en el mismo lugar o en su proximidad. En su tratamiento, se suele aplicar una terapéutica antivírica local o de estimulación de anticuerpos en todo el organismo.

**La gonorrea** Llamada también *blenorragia*, está producida por la bacteria *Neisseria gonorrhoeae*. El contagio se produce por la llegada del germen a la uretra, al recto o a la faringe del hombre, a estas mismas zonas o al cuello del útero de la mujer, durante las relaciones sexuales.

La enfermedad se manifiesta de dos a diez días después del contagio. En el meato urinario del hombre aparece una secreción, de color amarillo sucio, junto con la necesidad más frecuente de orinar y ardor al evacuar la orina. En la mujer, ligero prurito en los genitales y cierto aumento en el flujo vaginal, que aparece sucio.

Si el proceso gonorreico no es atajado a tiempo, puede producir en el varón orquiepididimitis (inflamación de los testículos y del epidídimo, que puede causar esterilidad) y prostatitis; en la mujer, alpingitis (inflamación de las trompas de Falopio, que también puede producir esterilidad) y peritonitis. Otras complicaciones pueden ser: endocarditis, artritis, inflamación de las glándulas genitales, etcétera.

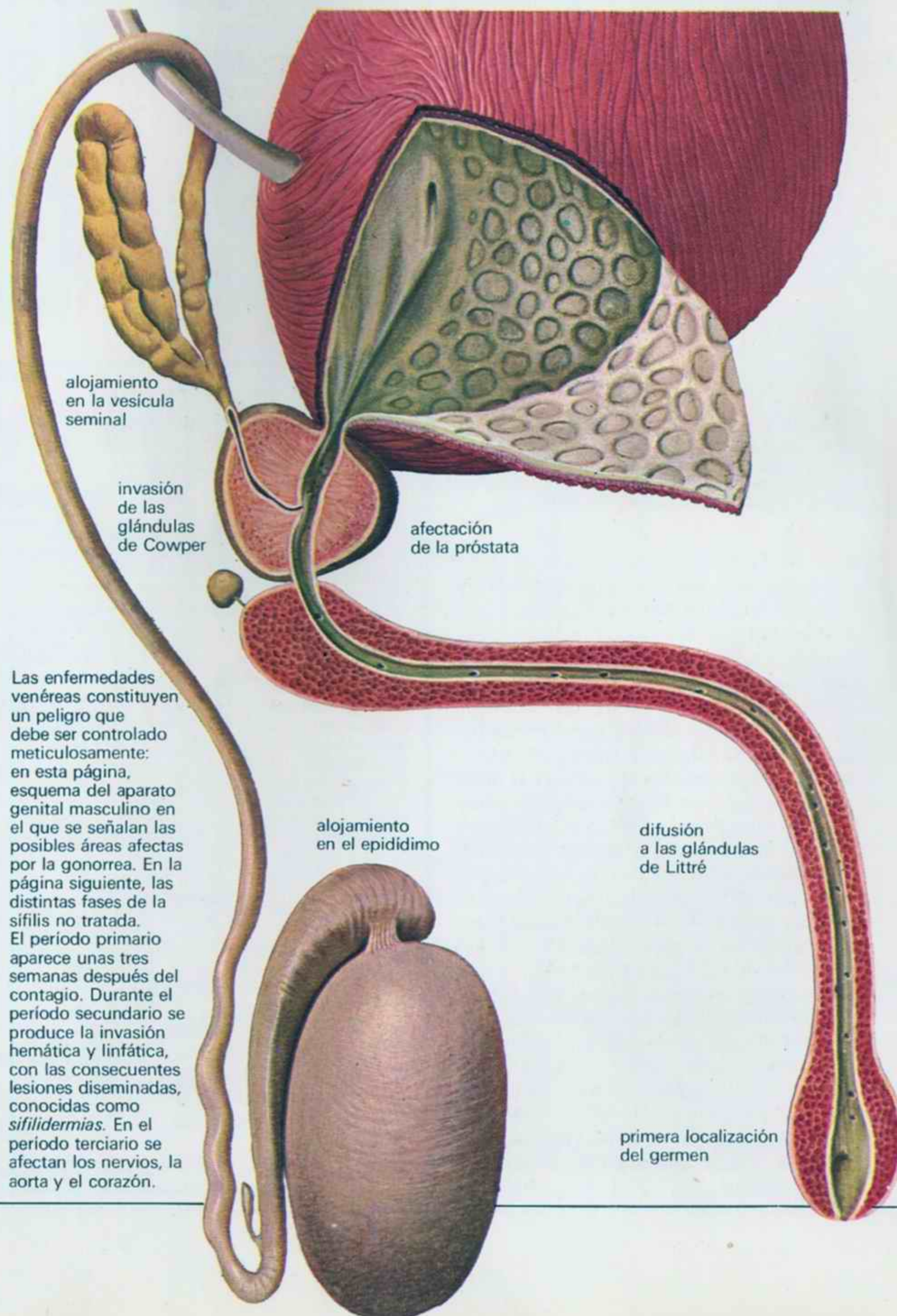
En el momento del parto, la madre infectada puede contagiar la enfermedad al recién nacido en los ojos, produciéndole ceguera de nacimiento.

El tratamiento de la enfermedad es siempre a base de antibióticos y mientras dura es necesaria la abstinencia sexual completa y la no ingestión de bebidas alcohólicas.

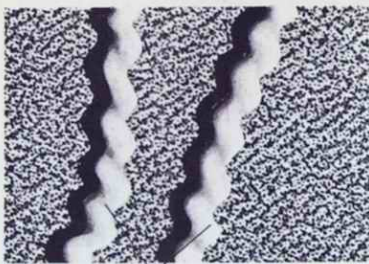
**La sífilis** Está causada por el germen infeccioso *Treponema pallidum* y, dado que no sobrevive fuera del cuerpo humano, su contagio es siempre directo, normalmente durante las relaciones sexuales, a través de las mucosas sanas o a través de heriditas o rozaduras de la piel.

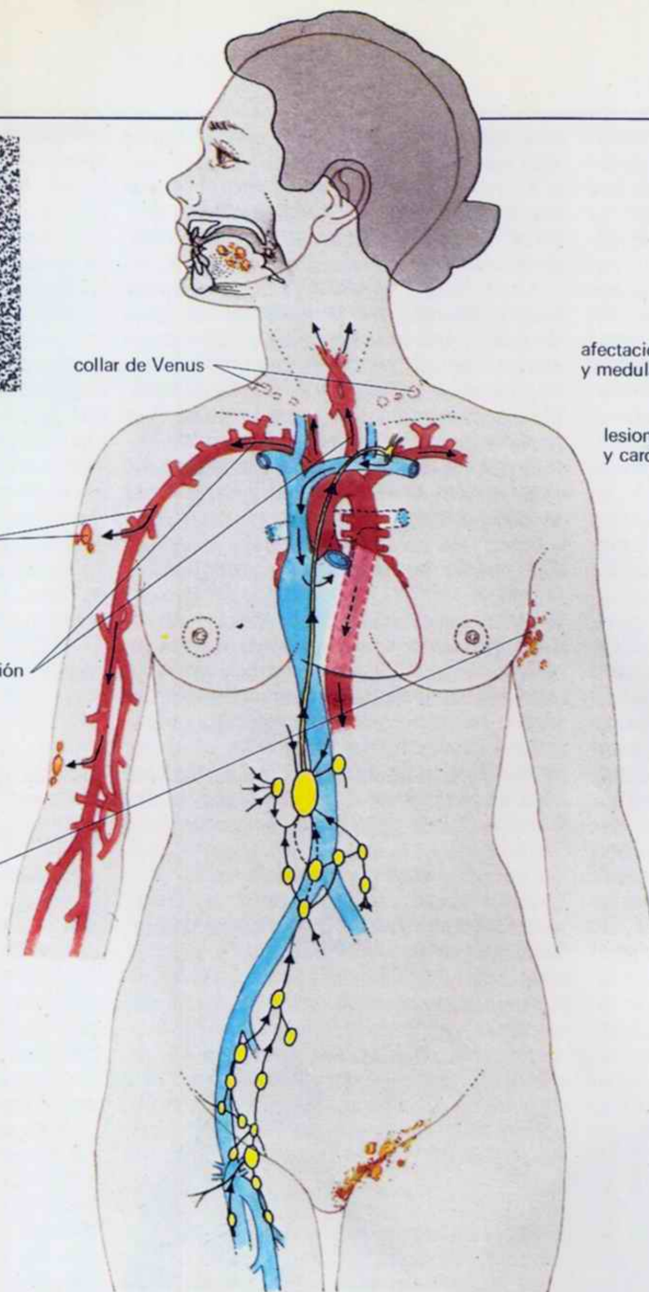
Tras el contagio, y después de un período de incubación que oscila entre 10 y 90 días (21 días por término medio), en el lugar por donde se ha producido la infección aparece una úlcera llamada *chancro sifilítico*. Esta fase se denomina *sífilis primaria*. La aparición de la úlcera va generalmente acompañada de la inflamación de los ganglios linfáticos regionales. Las localizaciones más frecuentes son: los órganos genitales, ano, labios, lengua y, en la mujer, el cuello del útero.

Al cabo de un mes, el chancro se cura espontáneamente, aunque el enfermo no siga ningún tratamiento. Sin embargo, la enfermedad continúa, pero enmascarada. Al cabo de 2 meses del contagio inicial, aparecen manifestaciones de la enfermedad por casi todo el cuerpo: son manchas



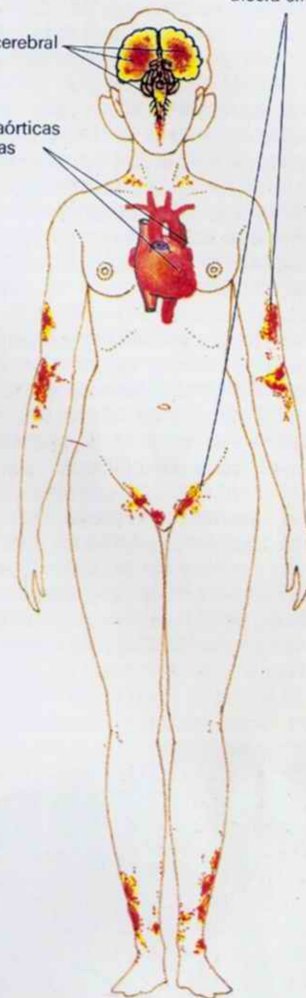

Las enfermedades venéreas constituyen un peligro que debe ser controlado meticulosamente: en esta página, esquema del aparato genital masculino en el que se señalan las posibles áreas afectas por la gonorrea. En la página siguiente, las distintas fases de la sífilis no tratada. El período primario aparece unas tres semanas después del contagio. Durante el período secundario se produce la invasión hemática y linfática, con las consecuentes lesiones diseminadas, conocidas como *sifilidermias*. En el período terciario se afectan los nervios, la aorta y el corazón.













rosadas y pápulas en las palmas de las manos, en las plantas de los pies o en las mucosas de los órganos genitales, de la boca y del ano; fiebre, inflamación de las articulaciones y pérdidas de cabello.

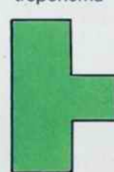
En la *fase terciaria* aparecen complicaciones graves: la enfermedad puede afectar al corazón o a la aorta, a los huesos, a los músculos y a las vísceras, destruyéndolos; también puede afectar al cerebro y a la médula espinal. Estas dos localizaciones son gravísimas, ya que producen la parálisis general progresiva (o locura sifilítica) y la tabes dorsal, que pueden tardar entre 10 y 30 años en manifestarse.

Durante el embarazo, la madre sifilítica puede transmitir la enfermedad al hijo, provocando abortos o nacimientos de criaturas con graves lesiones en la piel, en los huesos o en las vísceras: es la *sífilis congénita*.

Una vez realizados los reconocimientos y análisis pertinentes, si los resultados son positivos, el médico prescribirá un tratamiento de antibióticos (penicilina, eritromicina, tetraciclinas, etc.), que curarán la enfermedad. Sin embargo, aunque hayan desaparecido todos los síntomas, se deberá pasar los reconocimientos periódicos que ordene el médico, ya que la enfermedad no estará curada del todo hasta que la sangre no se halle totalmente libre del agente infeccioso. De no hacerse así, se corre el riesgo de que, al cabo de unos años, aparezcan lesiones en el corazón, en las vísceras o en el cerebro.

Véase **Antibióticos; Enfermedades infecciosas**

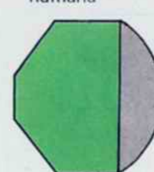
En el cuadro a la derecha de estas líneas, *test* de inmunofluoresceína: el suero del paciente portador de sífilis reacciona con un antígeno treponémico. Se forma un complejo antígeno-anticuerpo puesto en evidencia mediante anticuerpos marcados con fluoresceína.




+




+



# Engranaje

Se llama *engranaje* al mecanismo utilizado para transmitir potencia entre las distintas partes de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales la mayor se denomina *rueda*, y la menor, *piñón*.

Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo. De manera que una de las ruedas está conectada a un eje movido por la fuente de energía (engranaje conductor) y la otra lo está a un eje que pone en movimiento al elemento que debe recibir la potencia (engranaje conducido).

**Velocidad y par motor** Si el piñón acciona a la rueda, el conjunto se denomina *reductor de velocidad*: un giro completo del piñón producirá menos de una vuelta completa de la rueda. Si, por ejemplo, la circunferencia del piñón es igual a la mitad de la de la rueda, el piñón deberá girar dos veces para que la rueda dé una vuelta completa y al mismo tiempo el par motor se multiplica por dos. Esta disposición reductora de los engranajes es la más utilizada debido a que, normalmente, la velocidad de los motores es mucho mayor que la desarrollada por las máquinas que aquéllos accionan.

Si, por el contrario, es la rueda la que acciona al piñón, el engranaje será un *elevador de velocidad*, que producirá el efecto opuesto.

Cuando una rueda acciona a otra, ambas ruedan en sentido contrario. En caso de que se necesite que ambas giren en el mismo sentido, se utiliza una tercera rueda dentada, denominada *rueda intermedia*, que se interpone entre aquéllas. Las ruedas intermedias se utilizan con frecuencia en la caja de velocidades de los automóviles, con la finalidad de obtener la marcha atrás.

**Tipos de engranajes** La principal clasificación relativa a los engranajes se efectúa según la disposición de sus ejes de rotación y según los tipos de dentado. Si dichos ejes están paralelos entre sí, generalmente se utilizan engranajes de dientes rectos, es decir, que están cortados paralelamente a la dirección de los ejes, o bien engranajes helicoidales, en los cuales los ejes de los dientes forman un ángulo determinado con respecto a la dirección de los ejes.

Los engranajes cilíndricos de dientes rectos son el tipo más común y se utilizan para transmitir potencia entre ejes paralelos o que están alineados.

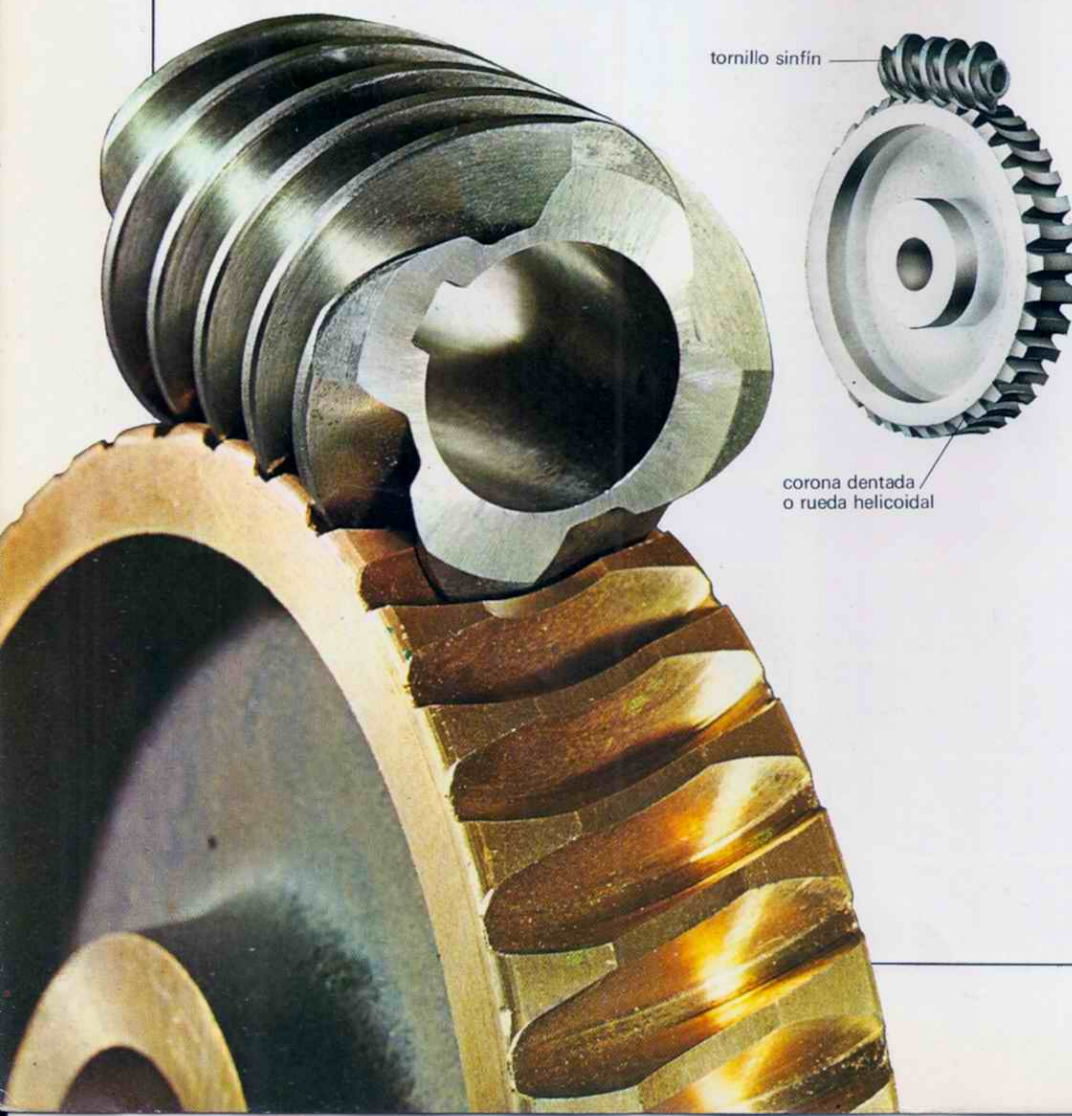
Los engranajes helicoidales se utilizan para transmitir potencia entre ejes que no están en el mismo plano; la combinación entre sus características de movimiento y las posibilidades de diseño los hacen muy adecuados para el piñón y la corona del diferencial de los automóviles. Cuando se utilizan engranajes helicoidales para transmitir potencia en ejes paralelos, se produce un empuje lateral, por lo que en estos casos suelen disponerse dos juegos de engranajes de empuje opuesto, con lo que ambos se contrarrestan. Los ejes que están perpendiculares el uno con respecto al otro pueden ser conectados mediante engranajes cónicos. Son engranajes de forma tronco-cónica con los dientes dispuestos según las generatrices del cono o bien inclinados (helicoidales) con respecto a estas.

Algunas veces los ejes de rotación, además de no estar paralelos entre sí, están colocados en distintos planos, utilizándose entonces engranajes especiales, llamados *engranajes cónicos de dientes hipoides*. Estos engranajes disponen de dientes rectos, pero cortados o tallados sobre la cara del engranaje formando ángulo con el eje. Los ejes de rotación de estos engranajes pueden ser desplazados hacia arriba o abajo con respecto al eje del piñón. Los engranajes hipoides se emplean en los puentes posteriores de los automóviles de tracción trasera para comunicar el movimiento del árbol de transmisión a las ruedas. El desplazamiento hacia abajo del piñón permite bajar el árbol de transmisión y el motor, descendiendo así el centro de gravedad del automóvil.

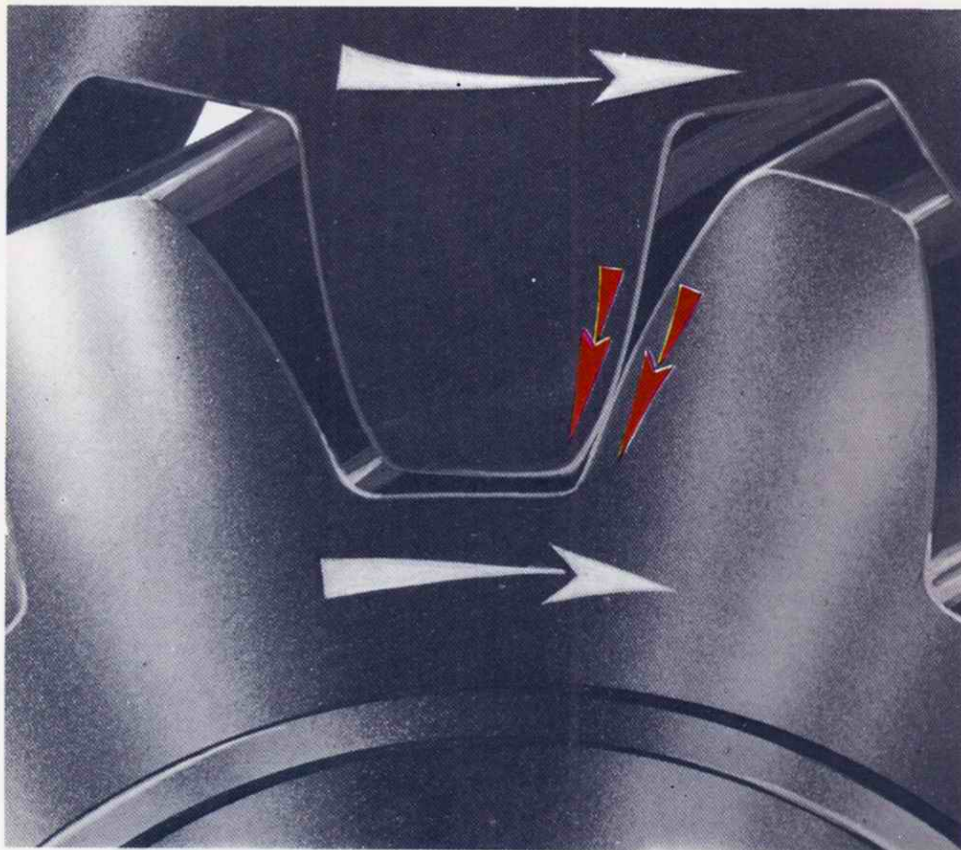
Para ejes que se cruzan se puede utilizar sistemas de rueda helicoidal y tornillo sinfín. En esta clase de engranajes hay un largo recorrido de deslizamiento entre los dientes, por lo que el rendimiento no es alto. Es, sin embargo, un mecanismo que permite conseguir una fuerte reducción de velocidades, pudiéndose convertir en un excelente freno, ya que el sentido del giro es irreversible.

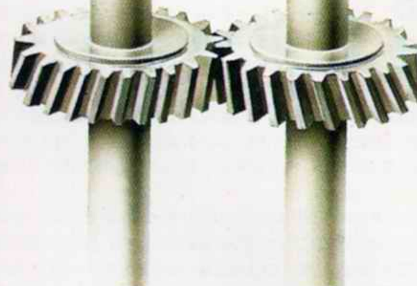
Los *engranajes planetarios* o *epicicloidales* están constituidos por una serie de engranajes "satélites" que giran alrededor de un engranaje central. Estos sistemas permiten disponer de más de una relación de transmisión —sin necesidad de engranar y desengranar piñones— respecto a las dimensiones de los engranajes satélites, que son los que conectan el engranaje central con el engranaje coaxial de dientes internos, llamado *corona*.

Otro tipo de engranaje se basa en acoplamientos de ruedas de fricción que no poseen dentado y en el que la rueda del eje conductor presiona y arrastra la del conducido. Las ruedas de fricción transmiten el par con uniformidad; sin embargo, sólo pueden transmitir pares muy inferiores a los que transmiten las ruedas dentadas.



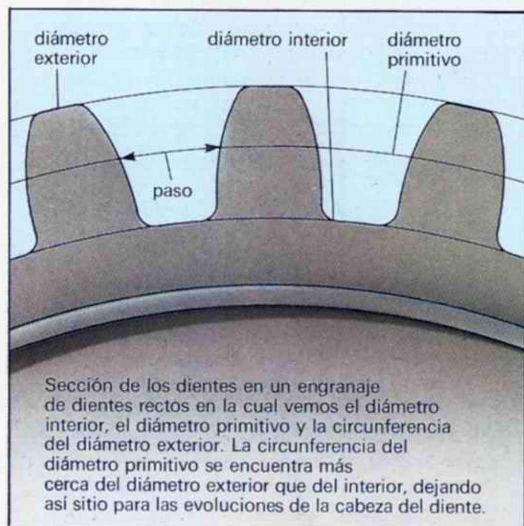

Véase **Automóvil, diferencial; Automóvil, embrague y caja de cambios; Transmisión hidráulica**





engranaje de dientes helicoidales

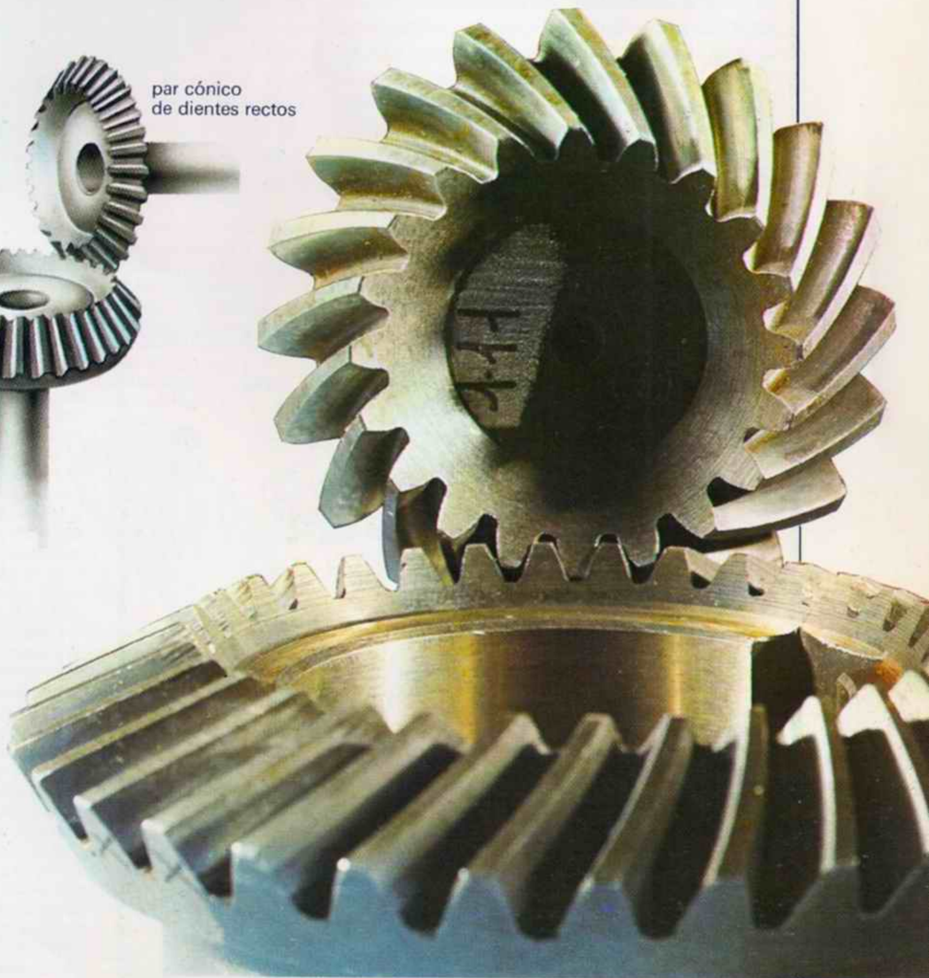
A la izquierda podemos observar el principio de funcionamiento de los engranajes: en la rotación de las ruedas dentadas debe haber siempre algún diente de la rueda conductora en contacto con alguno de la rueda conducida. La parte del engranaje que contacta con el otro engranaje del par se denomina *perfil.* Arriba, a la derecha, vemos una pareja de ruedas helicoidales; tienen, entre otras, la ventaja de un movimiento silencioso. Bajo estas líneas: a la izquierda, pareja de ruedas cónicas para transmitir el movimiento entre dos ejes perpendiculares y a menudo utilizada en los diferenciales de los automóviles. Si se utilizan distintos diámetros, se puede obtener una variación de la velocidad angular de los ejes. A la derecha, un par cónico de dentado helicoidal. Este tipo de dentado y otros más complejos de diseñar y construir posibilitan la transmisión del movimiento entre ejes que se cruzan, y permiten también que haya contacto en amplias zonas de los perfiles de los dientes, lo que hace posible transmitir grandes potencias con el mínimo desgaste de los dientes.




Sección de los dientes en un engranaje de dientes rectos en la cual vemos el diámetro interior, el diámetro primitivo y la circunferencia del diámetro exterior. La circunferencia del diámetro primitivo se encuentra más cerca del diámetro exterior que del interior, dejando así sitio para las evoluciones de la cabeza del diente.



par cónico de dientes rectos



En la página anterior vemos el conjunto tornillo sinfín-rueda helicoidal que se utiliza para transmitir grandes potencias cuando es necesaria una elevada relación de transmisión. Algunas veces se utiliza en los puentes traseros de algunos automóviles o camiones. Tiene la desventaja de no ser completamente reversible, sobre todo en grandes relaciones de transmisión, y de consumir en rozamiento una parte de la potencia. En las construcciones de mayor calidad, la corona está fabricada de bronce, y el tornillo sinfín, de acero templado: de esta forma se reduce el rozamiento.

# Enlace químico y valencia

Si se ponen en contacto limaduras de hierro con polvo de azufre y se mezclan bien a temperatura ambiente, siempre es posible separar los dos elementos (por ejemplo: con un imán, que atrae al hierro y no al azufre). Ambos elementos se encuentran en contacto físico, sin existir fuerzas notables y ostensibles entre ellos.

Pero si se calienta la mezcla en un tubo de ensayo, ambos elementos reaccionan y se origina sulfuro de hierro; en este compuesto los átomos están unidos mediante enlace químico y no pueden ser separados como antes con un imán.

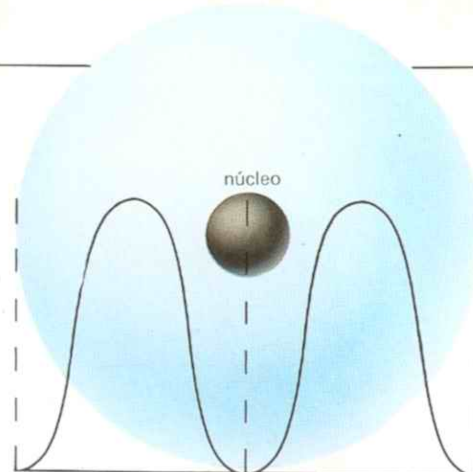
El *enlace químico* es una fuerza que mantiene unidos a dos átomos de una sustancia química. La naturaleza de esta fuerza está en relación con el equilibrio eléctrico en el compuesto químico y con la tendencia que tienen los átomos a formar estructuras químicas —moléculas, agrupaciones iónicas y atómicas— que posean más estabilidad y menos energía que la de los átomos por separado.

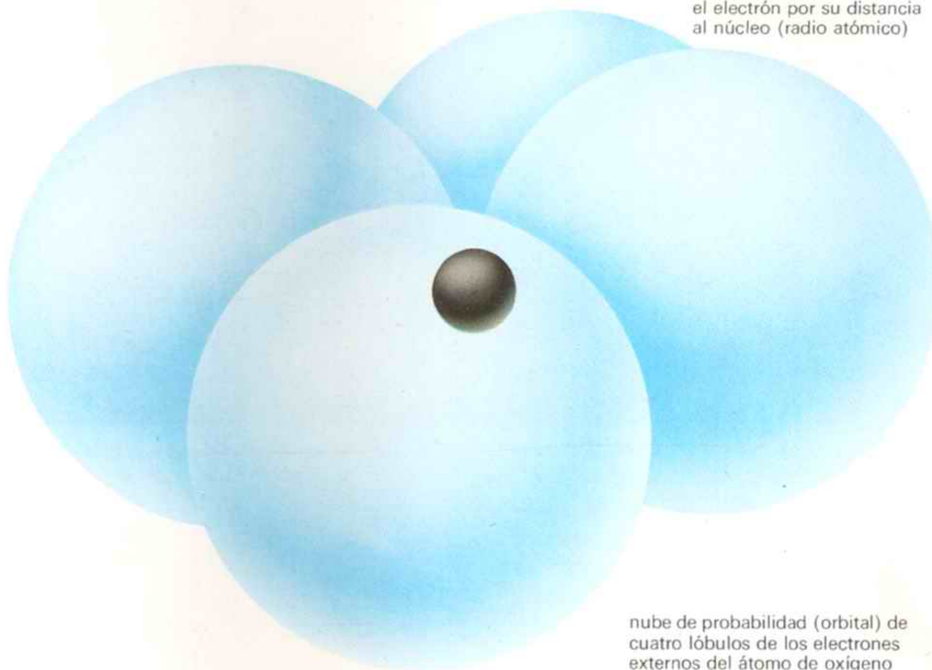
**Valencia y estructura electrónica** Los enlaces químicos se realizan con la intervención de los electrones más externos del átomo (*electrones de valencia*), jugando un papel importante en su formación la configuración electrónica de cada elemento, que determina su *valencia* o capacidad de combinación. Tradicionalmente se ha considerado al hidrógeno (monovalente) como elemento de referencia, con lo que la valencia de un determinado elemento vendría dada por el número de átomos de hidrógeno con que se combina dicho elemento. Así, el flúor sería monovalente (HF); el oxígeno, divalente ($H_2O$); el nitrógeno, trivalente ($NH_3$); y el carbono, tetravalente ($CH_4$).

Actualmente la capacidad de combinación se deduce de la tendencia que poseen los elementos a adoptar la estructura de *gas noble*, que es una estructura estable, hecho que está demostrado y que explica por qué los gases nobles poseen una gran inercia química a combinarse. Por eso se les llama también *gases inertes*. Estos elementos tienen ocho electrones de valencia (excepto el helio, que tiene dos y posee también estructura estable).

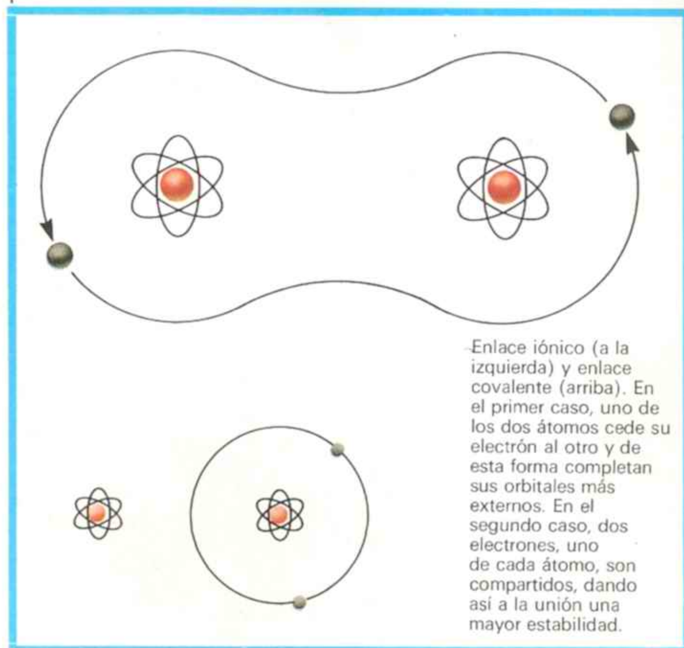
Los elementos que tienen menos de cuatro electrones de valencia tienden a perderlos al reaccionar con otros que tienen más de cuatro y que los toman. Como resultado de esta transferencia, los primeros se convierten en iones positivos y los segundos en iones negativos, quedando ambos con ocho electrones en la capa más externa y adoptando así la estructura estable de gas noble. La valencia entonces viene determinada por el número de electrones transferidos, y el enlace producido se denomina *enlace iónico*. Así, el calcio (Ca) tiene dos electrones de valencia y los cede al combinarse con el azufre (S), convirtiéndose en ion calcio ($Ca^{2++}$): su valencia es +2. Por el contrario, el azufre, que tiene 6 electrones de valencia, toma los dos electrones del calcio y se transforma en ion sulfuro ($S^{2-}$): su valencia es -2.

Pero no siempre los hechos transcurren así. Si se combinan dos elementos con más de cuatro electrones de valencia (los no metales), no hay cesión total de electrones sino que se comparten, de tal forma que, en general (no siempre), el número de electrones en torno a un átomo después de efectuado el enlace —sumados los propios y los compartidos— resulta ser también ocho. Este comportamiento fue descrito por Lewis a partir de 1923, desarrollando la *teoría del enlace químico* entre elementos no metálicos, según la cual, cuando dos átomos de este tipo se

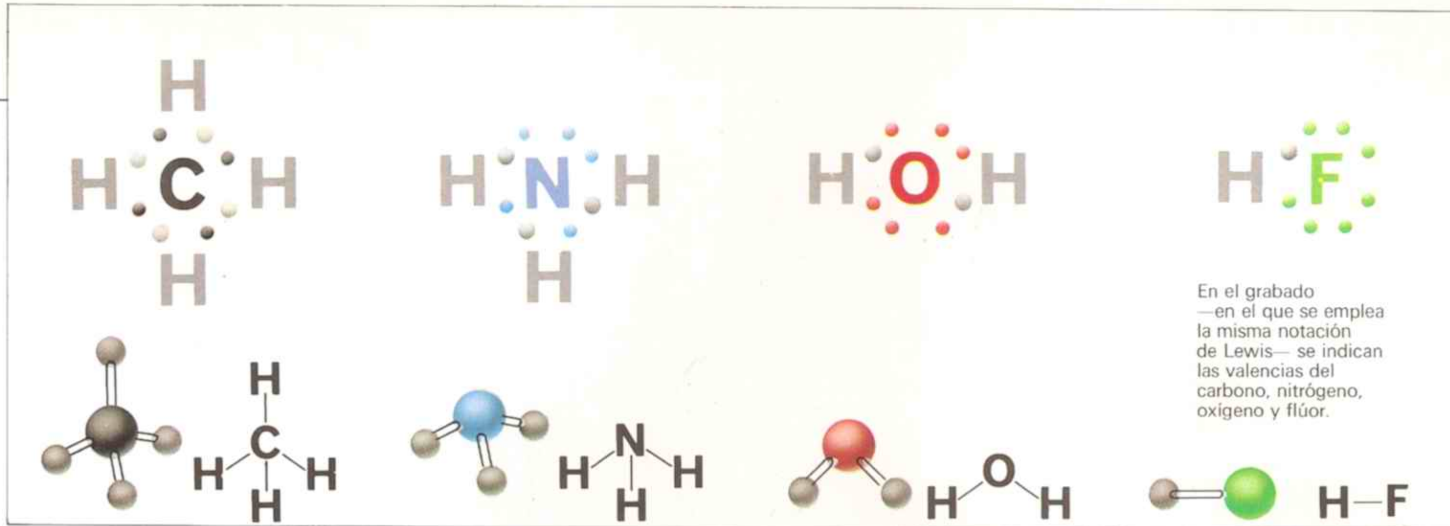



Arriba, a la derecha, se ve el núcleo del átomo de hidrógeno rodeado de la nube → electrónica esférica formada por las sucesivas posiciones del electrón. La curva indica la probabilidad máxima de encontrar el electrón en torno al núcleo. Tiene un máximo en torno a la mitad del radio atómico y dos mínimos: en el núcleo y en el extremo del radio atómico. En ambos lugares es improbable encontrar el electrón.
Más abajo (justo sobre estas líneas), un núcleo de oxígeno englobado por cuatro nubes electrónicas: dos nubes electrónicas llevan dos electrones apareados y las otras dos uno cada una. Estos dos últimos electrones forman sendos orbitales que pueden originar otros tantos enlaces covalentes.



Enlace iónico (a la izquierda) y enlace covalente (arriba). En el primer caso, uno de los dos átomos cede su electrón al otro y de esta forma completan sus orbitales más externos. En el segundo caso, dos electrones, uno de cada átomo, son compartidos, dando así a la unión una mayor estabilidad.




En el grabado —en el que se emplea la misma notación de Lewis— se indican las valencias del carbono, nitrógeno, oxígeno y flúor.

unen, comparten en cada enlace un par de electrones, originando así el llamado *enlace covalente*. La valencia en este caso viene dada por el número de pares de electrones compartidos.

**Teoría de orbitales de valencia** La teoría de Lewis sobre el enlace covalente se aproxima a la realidad del hecho químico, pero su representación, localizando los electrones —señalizados por puntos— en torno al átomo, es poco rigurosa.

Los electrones están en constante y vertiginoso movimiento en torno a los núcleos, y por tanto no localizables. Su situación, indeterminada, viene definida por la región del espacio en torno al núcleo en la que existe mayor probabilidad de encontrarlos. Esa zona se llama *orbital*. Los orbitales pueden tener como máximo dos electrones (apareados) o un solo electrón (desapareado). Los orbitales con un solo electrón desapareado están en condiciones de formar un enlace químico con otro orbital de las mismas condiciones, si bien los electrones deben tener *spin* (giro) opuesto. Se dice que son *antiparalelos*. Así se forman los orbitales moleculares que engloban los núcleos de los dos átomos enlazados. La valencia, en este caso, viene dada por el número de electrones (orbitales) desapareados que posee el elemento.

Los electrones adoptan formas diversas y se les designa por las letras *s*, *p*, *d* y *f*. En ocasiones, dos tipos de orbitales atómicos puros se "mezclan" y dan origen a orbitales "híbridos", de energía intermedia, como sucede con el carbono. Los electrones de valencia de este elemento están distribuidos en cuatro orbitales: un orbital *s* y tres *p*, con un solo electrón en cada orbital. Su valencia, por lo mismo, es cuatro. Como la energía del orbital *s* es distinta a la de cada orbital *p*, y, por otra parte, los cuatro enlaces sencillos que puede formar el carbono son equivalentes, se admite la formación de cuatro orbitales híbridos idénticos ($sp^3$). Igualmente, se forman tres orbitales híbridos ($sp^2$) en los enlaces dobles de carbono y dos orbitales híbridos (sp) en los enlaces triples.

**Número de oxidación** Efectuado el enlace químico, cada átomo tiene un *número* o *estado de oxidación*, que equivale al número de electrones ganados o perdidos totalmente (compuestos iónicos) o parcialmente (compuestos covalentes).

El número de oxidación en las sustancias simples, como el hidrógeno ($H_2$), es cero, porque ambos átomos en la molécula requieren al par electrónico con la misma fuerza; por tanto, no hay cesión de los electrones de un átomo a otro.

En los compuestos iónicos binarios, como el óxido de calcio (CaO), el estado de oxidación del calcio es +2, y el del oxígeno, -2; aquí coincide con la *electrovalencia*.

Para los compuestos covalentes, formados por átomos de distinto carácter metálico, el signo positivo en el número de oxidación corresponde al átomo de mayor carácter metálico, siendo negativo el número de oxidación del otro átomo. Con frecuencia, un átomo puede exhibir varios estados de oxidación. Los diferentes estados de oxidación de un átomo se determinan conociendo la fórmula del compuesto formado y el número de oxidación de los otros átomos. Y aunque, en algunos casos, el número de oxidación coincide con el número que expresa la valencia de un átomo, los conceptos son diferentes, según se ha indicado.

Véase **Atomo; Molécula; Química; Reacción química**

Configuración espacial de los distintos orbitales de los enlaces del carbono en el caso de formar un compuesto mediante enlace simple (a) y de compuestos conteniendo un doble enlace (b).

Arriba se muestra la capacidad de diversos átomos para combinarse con átomos de hidrógeno. El carbono se une a cuatro átomos de hidrógeno y por tanto posee valencia cuatro. Desde el punto de vista electrónico, significa que los cuatro electrones más externos del carbono alojados en cuatro orbitales se aparean, hasta ocho, con los cuatro electrones aportados por el hidrógeno. De la misma manera podemos decir que el nitrógeno se combina con tres átomos de hidrógeno y es trivalente, que el oxígeno es divalente y el flúor monovalente.

a)

b)

# Entropía

Si se deja caer una gota de líquido coloreado en un vaso de agua, el color se expandirá hasta quedar distribuido uniformemente; sin embargo, por mucho tiempo que se espere, el fenómeno inverso (la condensación paulatina del líquido coloreado hasta volver a formar la gota inicial) no ocurrirá. La irreversibilidad de este proceso puede explicarse introduciendo un nuevo concepto: la *entropía*.

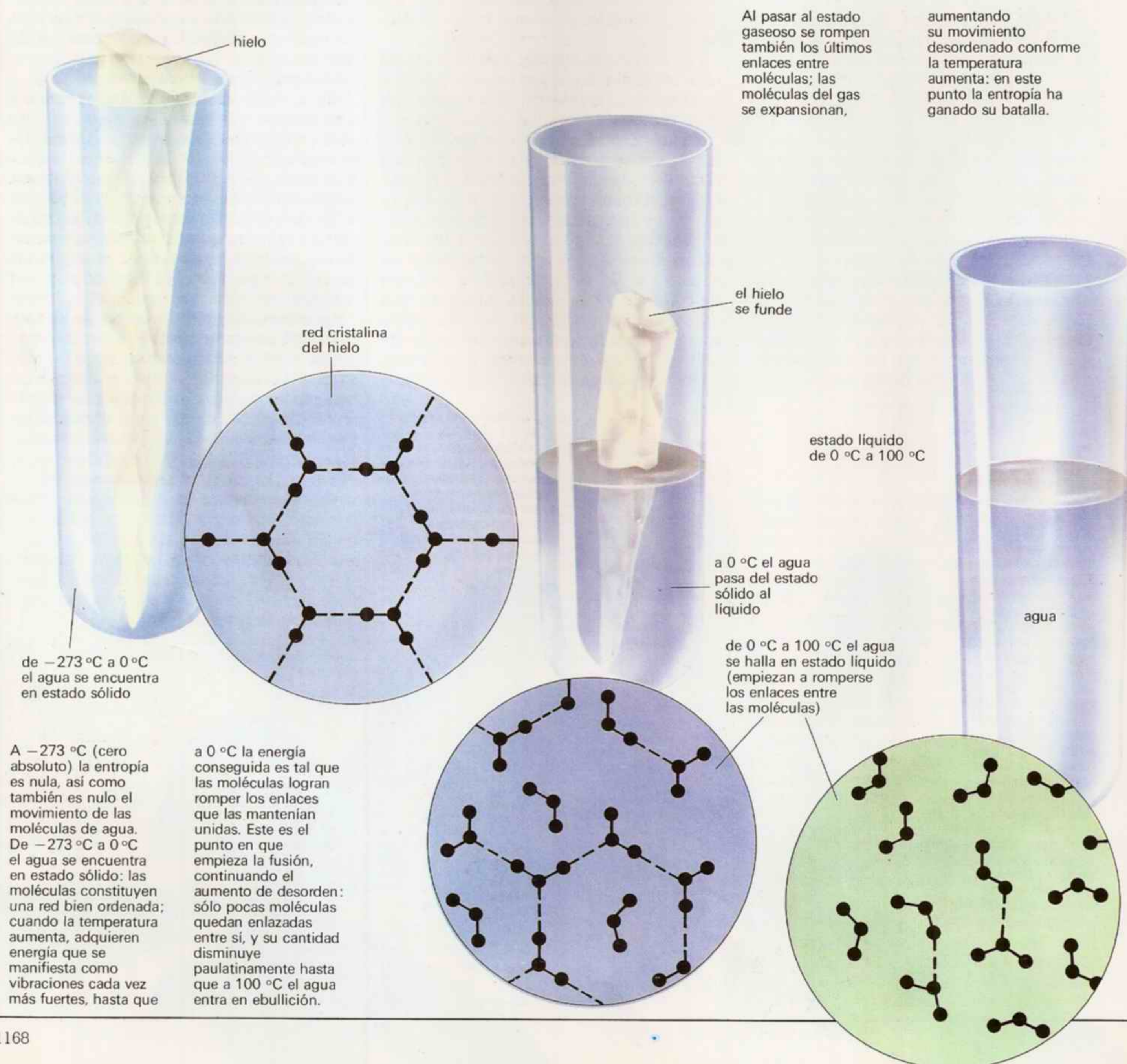
La entropía mide el grado de desorden que hay en un sistema. Todas las transformaciones que tengan lugar en un sistema aislado, es decir, sin intercambio de masa ni de energía con el exterior, llevan asociada una reducción del orden global y por tanto un aumento de la entropía del sistema (*principio de la entropía*).

Los científicos emplean varios ejemplos para ilustrar este principio: el del montón de granos de sal y de pimienta (cuyas partículas se mezclan cuando el recipiente que las contiene es agitado), el del niño en una habitación limpia y ordenada que al jugar crea desorden, el de la baraja (inicialmente ordenada) después de haber sido barajada por un jugador. Todos estos ejemplos indican que con el paso del tiempo la entropía de un sistema aumenta. Sería necesaria la acción de fuerzas exteriores al mismo para llevarle de nuevo al estado primitivo.

Siempre que en un sistema cerrado tiene lugar un cambio que implique un reajuste energético, dicho cambio produce como consecuencia una reducción de la energía utilizable. El físico alemán Rudolf Clausius acuñó la palabra *entropía* para indicar la cantidad de energía que no puede ser empleada para la producción de trabajo en todos los fenómenos donde la energía entra en juego.

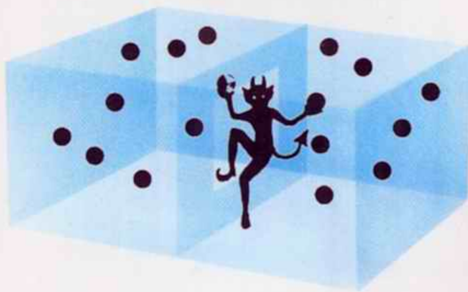
En base a esta interpretación, si la energía se distribuye uniformemente en un sistema (estado de equilibrio) no podrá transformarse en trabajo útil. Por ejemplo, si consideramos un recipiente con gas a temperatura elevada y una región con gas a temperaturas más bajas (por ejemplo, la atmósfera), se puede conseguir trabajo útil dejando que el gas más caliente se expansione; sin embargo, si todo el Universo estuviera lleno de gas a la misma temperatura, por muy elevada que ésta fuera, no habría posibilidad alguna de conseguir dicha expansión y no se podría obtener trabajo útil.

**Los principios de la Termodinámica** Clausius fue uno de los pioneros de la *Termodinámica*, ciencia que estudia el calor y el movimiento considerados como forma de energía y que se ocupa de los mo-




A −273 °C (cero absoluto) la entropía es nula, así como también es nulo el movimiento de las moléculas de agua. De −273 °C a 0 °C el agua se encuentra en estado sólido: las moléculas constituyen una red bien ordenada; cuando la temperatura aumenta, adquieren energía que se manifiesta como vibraciones cada vez más fuertes, hasta que a 0 °C la energía conseguida es tal que las moléculas logran romper los enlaces que las mantenían unidas. Este es el punto en que empieza la fusión, continuando el aumento de desorden: sólo pocas moléculas quedan enlazadas entre sí, y su cantidad disminuye paulatinamente hasta que a 100 °C el agua entra en ebullición.

## EL DIABLILLO DE MAXWELL



El recipiente contiene dos gases diferentes separados por una pared. Abriendo un orificio en dicha pared, los dos gases se expanden por todo el recipiente, mezclándose.
La entropía del sistema, o sea, el desorden, aumenta: antes las moléculas de los dos gases, aun estando agitadas por un movimiento continuo y desordenado, se encontraban separadas; pero luego se hallan mezcladas y es imposible separarlas: sólo un hipotético dispositivo (conocido como el "diablillo" de Maxwell) podría devolverlas a sus respectivos compartimentos sin consumo de energía, pero desgraciadamente este dispositivo es imposible de realizar.

dos en que es posible transformar calor en movimiento y viceversa. Las aplicaciones prácticas de esta ciencia incluyen los motores de automóviles y otras máquinas térmicas, cuya función es producir trabajo útil transformando el calor en movimiento.

Estas conversiones siguen dos importantes principios: el primer y segundo principios de la Termodinámica. En base al primero, la energía de un sistema aislado que sufre una transformación no aumenta ni disminuye. La energía es como una cantidad dada de dinero, que se puede transformar de una divisa nacional en otra, pero conserva siempre el mismo valor. Este enunciado también es conocido como *principio de conservación de la energía.*

El segundo define algunas características de estas transformaciones y postula que aunque la cantidad total de energía no varíe, una fracción de ella no se podrá volver a utilizar, dado que no todo el calor se puede transformar completamente en trabajo útil. Cada vez que se producen dichas pérdidas, aumenta el desorden del sistema, dado que el calor no es otra cosa que la agitación caótica de los átomos.

El principio de la entropía, aunque puede entenderse como una forma de enunciar el 2º principio de la Termodinámica, tiene una forma diferente de la mayor parte de las leyes físicas: mientras que éstas afirman igualdades entre magnitudes bajo condiciones dadas, el principio de la entropía establece que la cantidad total de entropía aumenta con el tiempo. Dicho de otra forma: un incremento de la entropía representa una disminución de las posibilidades del sistema; en definitiva, una degradación de la energía.

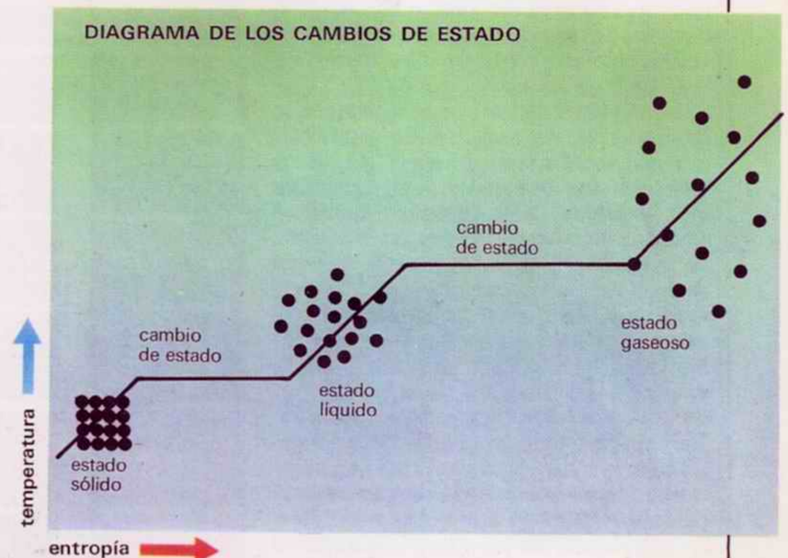
**Implicaciones del principio de la entropía** El primer principio de la Termodinámica elimina la posibilidad de construir máquinas que produzcan un trabajo sin consumir una cantidad equivalente de energía. El segundo excluye la posibilidad de una *máquina de movimiento perpetuo,* o sea, una máquina que se mueva eternamente. Una máquina de movimiento perpetuo ha de tener, como cualquier otra máquina, piezas en movimiento, y, entre ellas, algunas sometidas a rozamientos que producen pérdidas. También un péndulo oscilando en el vacío tiene partes en movimiento: allí donde el cable del péndulo está fijado a su punto de sujeción, existe al menos un punto de roce; este rozamiento produce calor y por lo tanto se produce una pérdida de energía mecánica en la máquina. Para impedir que la máquina se pare habrá que suministrarle más energía. Si todo el calor producido se pudiera transformar en energía mecánica, la máquina podría funcionar para siempre. Pero en base al principio de la entropía, ninguna máquina térmica puede transformar completamente energía utilizable de una forma en otra; por lo tanto una máquina de movimiento perpetuo es imposible de realizar.

Clausius consideraba que todos los movimientos del Universo acabarían por detenerse. Razonaba que aunque la energía del Universo es constante, la cantidad de entropía crece continuamente y llegaría un momento en que toda la energía fuese no-utilizable. Sin embargo no se puede afirmar que esta conclusión sea correcta: aunque el principio de la entropía sea válido para sistemas aislados, no se puede saber si lo es para todo el conjunto del Universo. En otras regiones del Universo, actualmente fuera del alcance de la ciencia, podrían existir fuerzas —por ejemplo, en el interior de un *agujero negro*—, que podrían actuar de forma que compensaran el aumento de la entropía, regiones donde el Universo "se cierra sobre sí mismo" en lugar de expansionarse.

Véase **Calor; Energía; Termodinámica**




## DIAGRAMA DE LOS CAMBIOS DE ESTADO



# Enzimas

Probablemente muchos de nosotros hemos utilizado el término "catalizador" para referirnos a algo que estimula la realización de cierto proceso. Efectivamente, un *catalizador* es una sustancia que induce o acelera una reacción química determinada, sin transformarse irreversiblemente durante su curso. En la extremadamente compleja química de la vida ese papel lo desempeñan los enzimas. En términos más concretos, los *enzimas* son un grupo de proteínas responsables de catalizar las reacciones del metabolismo, es decir, del conjunto de procesos mediante los cuales las biomoléculas se transforman unas en otras.

Entre los primeros enzimas que fueron descubiertos se encuentran la amilasa, que transforma el almidón en azúcar, y la pepsina del jugo gástrico, que es capaz de digerir parcialmente, incluso *in vitro*, las proteínas contenidas en los alimentos. Pero probablemente el sistema enzimático conocido desde más antiguo es el que produce la fermentación del jugo de la uva (mosto) en vino. Aunque esta transformación era ya conocida en los tiempos bíblicos, fue solamente diecinueve siglos más tarde cuando los científicos comprendieron el proceso químico que transforma en alcohol el azúcar de la uva. Son reacciones químicas, catalizadas de modo similar, las que producen el queso a partir de la leche (gracias a un enzima denominado rennina), la cerveza a partir de la cebada y el vinagre a partir del vino o de los zumos de fruta.

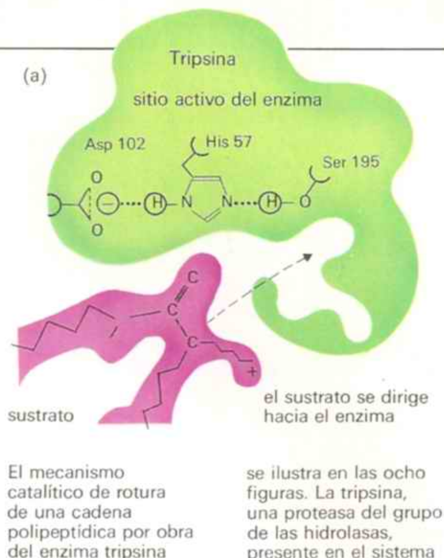
El descubrimiento de que los enzimas juegan importantes papeles no sólo en las fermentaciones sino también en Medicina tuvo lugar, poco más o menos, a mediados del siglo XIX. Estos estudios condujeron a la constatación de que los enzimas se encuentran involucrados en una vastísima gama de fenómenos biológicos. En efecto, los enzimas son los reguladores de casi todas las reacciones bioquímicas que generan la energía necesaria para la vida de los animales, de los vegetales y de los microorganismos, así como de las reacciones que llevan a la formación de moléculas complejas a partir de otras moléculas más simples.

La función de los enzimas digestivos es favorecer la degradación de moléculas grandes —como las proteínas, las grasas y los hidratos de carbono— en moléculas más pequeñas. Otros enzimas trabajan en sentido contrario y favorecen la formación de moléculas grandes a partir de moléculas más pequeñas, contribuyendo de este modo a la formación de sustancias que componen las células. Otros enzimas gobiernan la utilización y disponibilidad de energía, los procesos de la reproducción, de la visión, de la respiración y, en resumen, de todas las funciones fundamentales para la vida. Así, los enzimas son esenciales para el buen estado de salud del organismo y muchos son útiles en la industria, no solamente para la producción de queso y vino o para la fabricación de cerveza y pan, sino también para la síntesis y el análisis de ciertos compuestos químicos, sobre todo de aquéllos que están presentes en la Naturaleza en cantidades muy pequeñas.

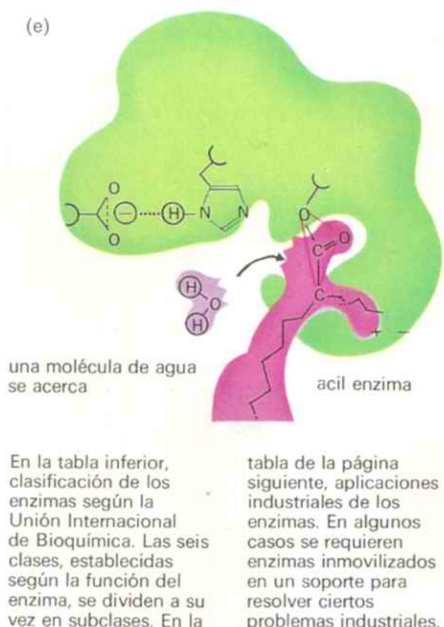
Una de las características más interesantes de los enzimas es su especificidad. Los enzimas actúan precisamente en el sitio y momento donde son necesarios para llevar a cabo su acción catalítica. En 1899, un químico alemán llamado Emil Fisher lanzó una teoría para explicar el motivo por el que los enzimas funcionan solamente sobre una gama restringida de sustratos. Según Fisher la relación entre un enzima y su sustrato es análoga a la que hay entre una cerradura y su llave: el enzima presenta en su conformación una especie de dentelladura y el sustrato una conformación específica complementaria, del mismo modo que una cerradura sólo puede acoplarse con su llave, y no con otras. En resumen, la formación del complejo enzima-sustrato es altamente específica.

Existen centenares y centenares de enzimas diferentes: algunos de ellos presentan tan sólo el constituyente proteico; otros están formados por una proteína y un cofactor, que puede ser un metal o una molécula orgánica conocida con el nombre de *coenzima*. Muchos de estos coenzimas contienen como parte integrante de su estructura una vitamina, y ésta es la razón por la que las vitaminas son esenciales para el correcto funcionamiento de los procesos vitales. Uno de los coenzimas más conocidos es el trifosfato de adenosina, una molécula muy importante en el intercambio de energía en las reacciones metabólicas.

Véase **Bacterias; Cerveza; Cromosoma; Digestión; Fermentación; Fotosíntesis; Proteínas; Quesera, industria; Síntesis proteica; Vino, fabricación del; Vitaminas**




El mecanismo catalítico de rotura de una cadena polipeptídica por obra del enzima tripsina se ilustra en las ocho figuras. La tripsina, una proteasa del grupo de las hidrolasas, presente en el sistema




En la tabla inferior, clasificación de los enzimas según la Unión Internacional de Bioquímica. Las seis clases, establecidas según la función del enzima, se dividen a su vez en subclases. En la tabla de la página siguiente, aplicaciones industriales de los enzimas. En algunos casos se requieren enzimas inmovilizados en un soporte para resolver ciertos problemas industriales.

**CLASIFICACION DE LOS ENZIMAS**

| CLASE | DEFINICION | ACCION CATALITICA |
|---|---|---|
| 1 | Oxidorreductasas | Reacciones de oxidorreducción (catalasas lipoxidasas) |
| 2 | Transferasas | Reacciones de transferencia de un receptor molecular desde un sustrato dador a otro receptor (metil-transferasas, fosfotransferasas) |
| 3 | Hidrolasas | Reacciones de hidrólisis (escisión de una molécula por adición de agua) (glucosidasas, lipasas, proteasas) |
| 4 | Liasas | Reacciones de escisión de un grupo funcional de la molécula con la formación de un doble enlace y viceversa (carboxilasas, amoniacoliasas) |
| 5 | Isomerasas | Reacciones de isomerización (desplazamiento de átomos dentro la molécula) (glucoisomerasas, cis-transisomerasas) |
| 6 | Ligasas o Sintetasas | Reacciones de síntesis entre dos moléculas en presencia de ATP (aminoácido-ARN-ligasa, péptidosintetasas) |

(b)

complejo enzima sustrato

el sustrato se une al enzima

(c)

rotura

escisión del enlace peptídico del sustrato

(d)

primer producto

acil enzima

parte del sustrato difunde hacia otro lugar

digestivo, hidroliza las proteínas, catalizando la escisión de los enlaces peptídicos de la cadena proteica.

$$—CO—NH— + H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow —COOH + —NH_2.$$

La proteína (sustrato) se dirige hacia el enzima (a) y se une con él (b). El punto de enlace peptídico (c) es escindido. Parte del sustrato se aleja (d), mientras que el resto queda unido al enzima. Se acerca una molécula de agua (e). Se forma la unión C—O (f) y se rompe el enlace del sustrato con el enzima, emitiendo éste un ion hidrógeno (g). El sustrato se desprende y el enzima queda libre, tal como estaba al principio del ciclo (h).

(f)

se forma el enlace C—O

(g)

complejo enzima-producto

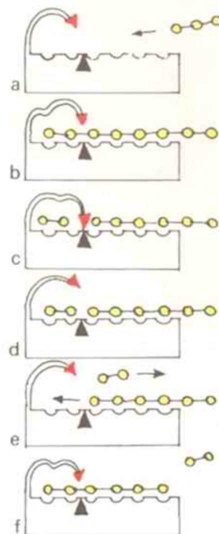
se rompe el enlace con el enzima

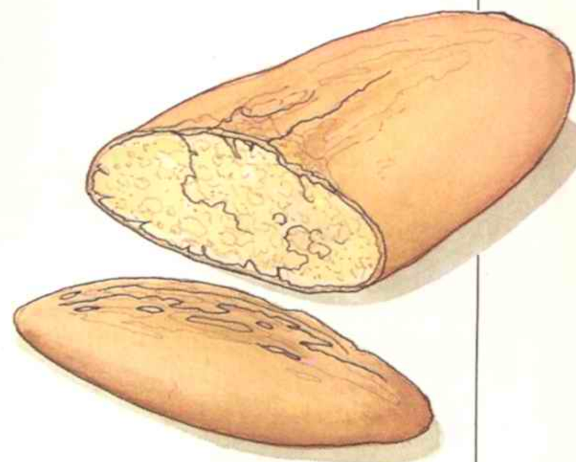
(h)

segundo producto

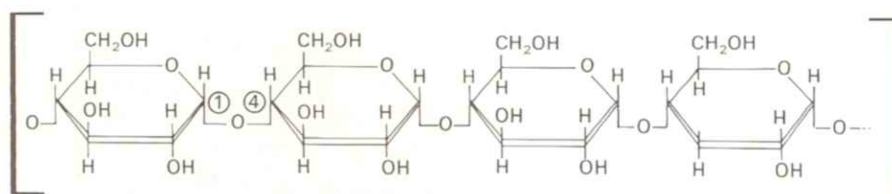
el sustrato se aleja ... a la fase (a)

| Aplicaciones industriales de los enzimas |
| --- |
| *Amilasas*: producción de pan, cerveza, jarabe de glucosa, alcohol, tejidos, papel |
| *Pectinasas*: vino y zumos de frutas y verduras |
| *Glucoisomerasas*: jarabe de fructosa |
| *Papaína*: carnes y cerveza |
| *Renina*: quesos |
| *Pepsina*: fármacos, alimentación |
| *Proteasas fúngicas*: productos de panadería, cerveza |
| *Proteasas bacterianas*: detergentes, curtiduría |
| *Lipasas*: quesos, chocolate |



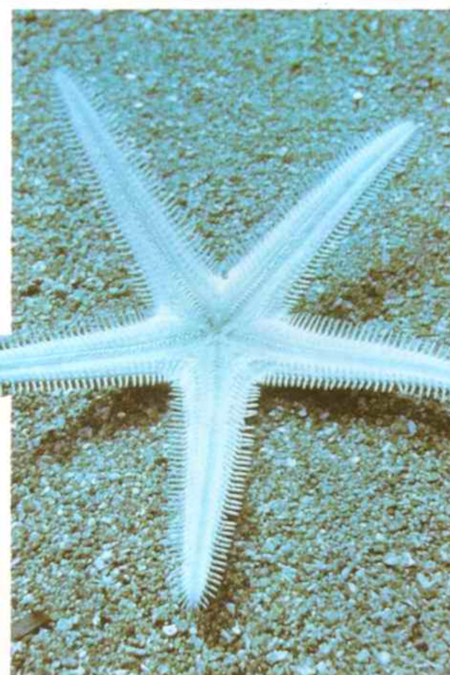
Sobre estas líneas, a la derecha, proceso según el cual la amilasa de las levaduras produce la maltosa del almidón de la harina durante la fermentación de la masa para producir el pan: la cadena de amilosa del almidón penetra en el sitio activo del enzima (a), se forma el complejo enzima-sustrato (b), se rompe el enlace covalente (c), se forma la maltosa (d) la cual se libera (e) y el ciclo se reanuda (f). Al lado, fórmula de la amilosa.

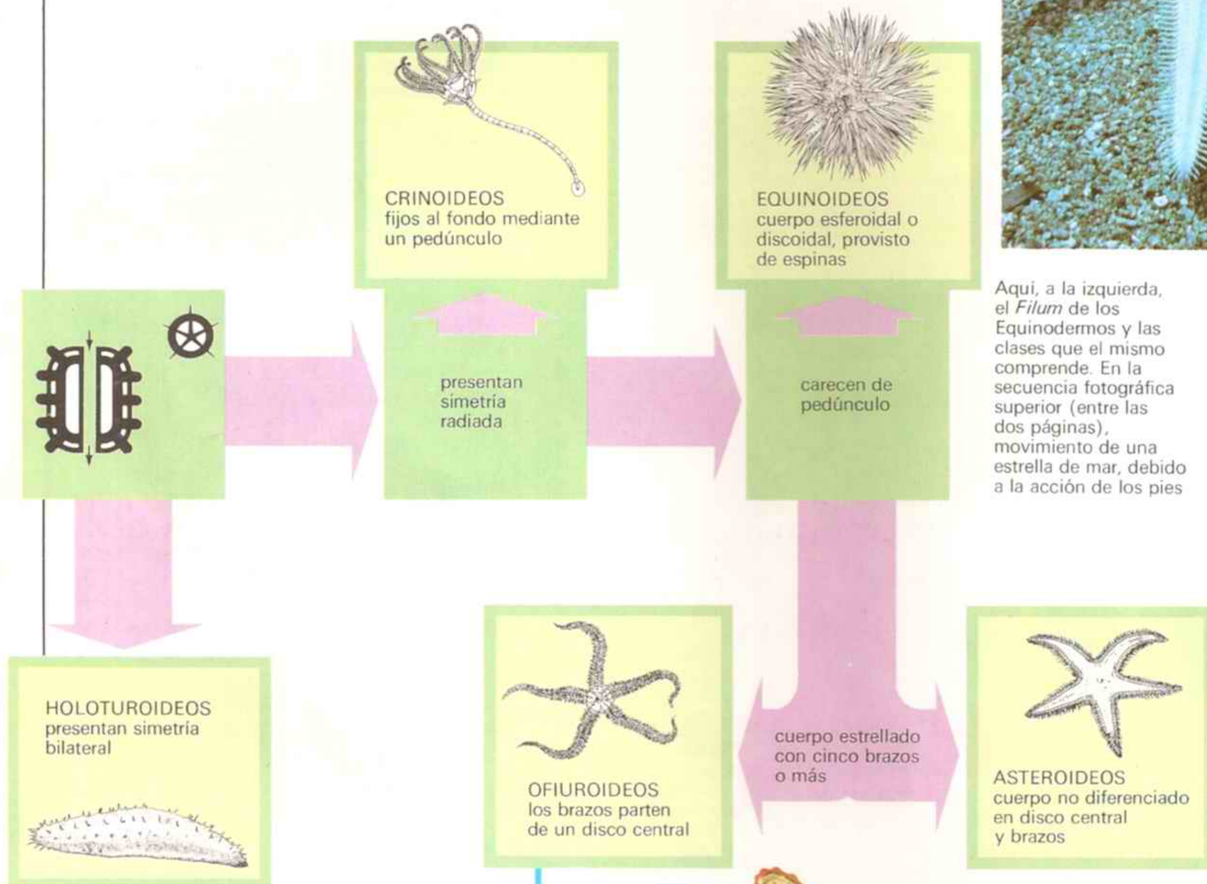


# Equinodermos

Los *Equinodermos* son un grupo de invertebrados marinos que incluye animales tan conocidos como las estrellas y los erizos de mar, auténticos símbolos de la vida marina. El grupo comprende otras formas menos conocidas, como los lirios de mar, las holoturias o cohombros de mar (de forma alargada) y las ofiuras o estrellas serpiente, animales muy parecidos a las estrellas de mar, pero con brazos más delgados que salen claramente desde un pequeño disco central. Todos presentan un mismo plan de organización general, y puestas alrededor de un eje central. Esta simetría deriva de otra bilateral que se manifiesta todavía en el estado de larva y que desaparece en la forma adulta. Suponen caso aparte las holoturias, cuya forma adulta es alargada y aparenta simetría bilateral.

Es característica también la presencia de un *esqueleto interno* compuesto de osículos calcáreos que pueden articularse entre sí, como en las estrellas y las ofiuras, o fusionarse para formar una concha esquelética rígida, como en los erizos. Tí-



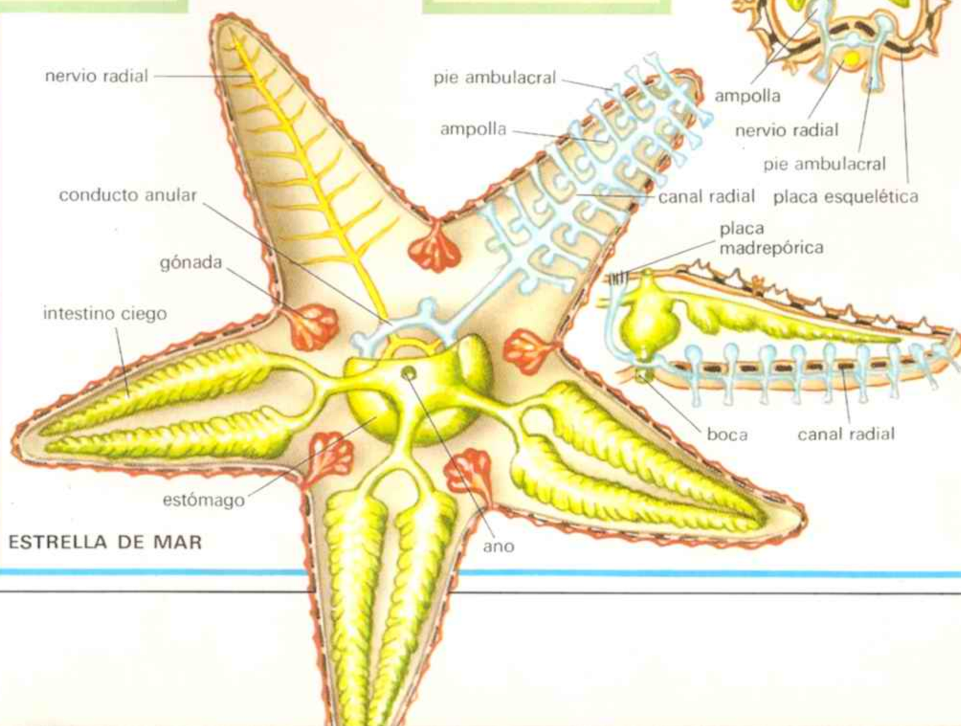



Aquí, a la izquierda, el *Filum* de los Equinodermos y las clases que el mismo comprende. En la secuencia fotográfica superior (entre las dos páginas), movimiento de una estrella de mar, debido a la acción de los pies ambulacrales. Se trata de prolongaciones tubulares de los canales radiales del sistema hidrovascular que sobresalen fuera del cuerpo. Un sistema de bombeo del agua a través de la placa madrepórica provoca la contracción y la distensión de los pies, mientras la ventosa de que están provistos se ahueca y adhiere al sustrato. Así, el movimiento del animal es debido a la suma de los movimientos de los pies.

todos, asimismo, pertenecen a la rica y variada comunidad de organismos marinos que vive en estrecha relación con el fondo: el *bentos*.

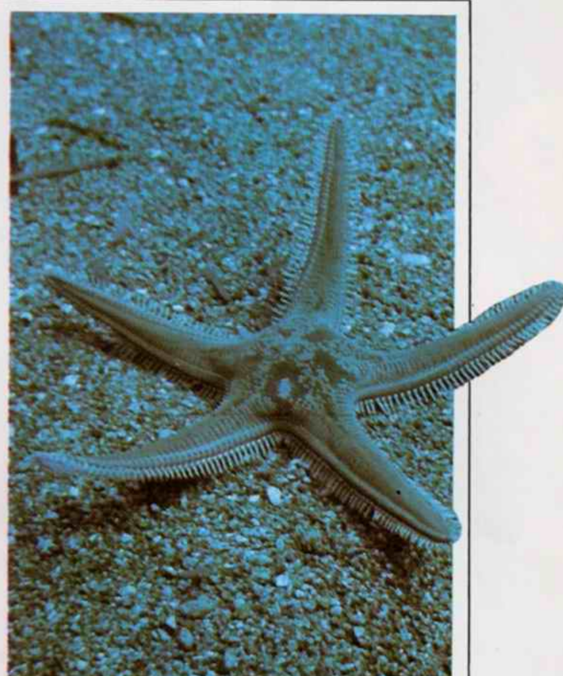
Los equinodermos abundan en la costa, pero pueden extenderse hasta profundidades de miles de metros. Algunos viven fijos al fondo mediante un pedúnculo o unos cirros (los lirios de mar), mientras que otros pueden moverse, aunque con gran lentitud, como las estrellas y los erizos; otros, por último, viven semihundidos en los fondos arenosos y fangosos, como es el caso de las holoturias.

**Características de los equinodermos** La característica más notable del grupo es su *simetría radial pentámera*, es decir, que el cuerpo puede dividirse en cinco partes iguales o casi iguales dis-







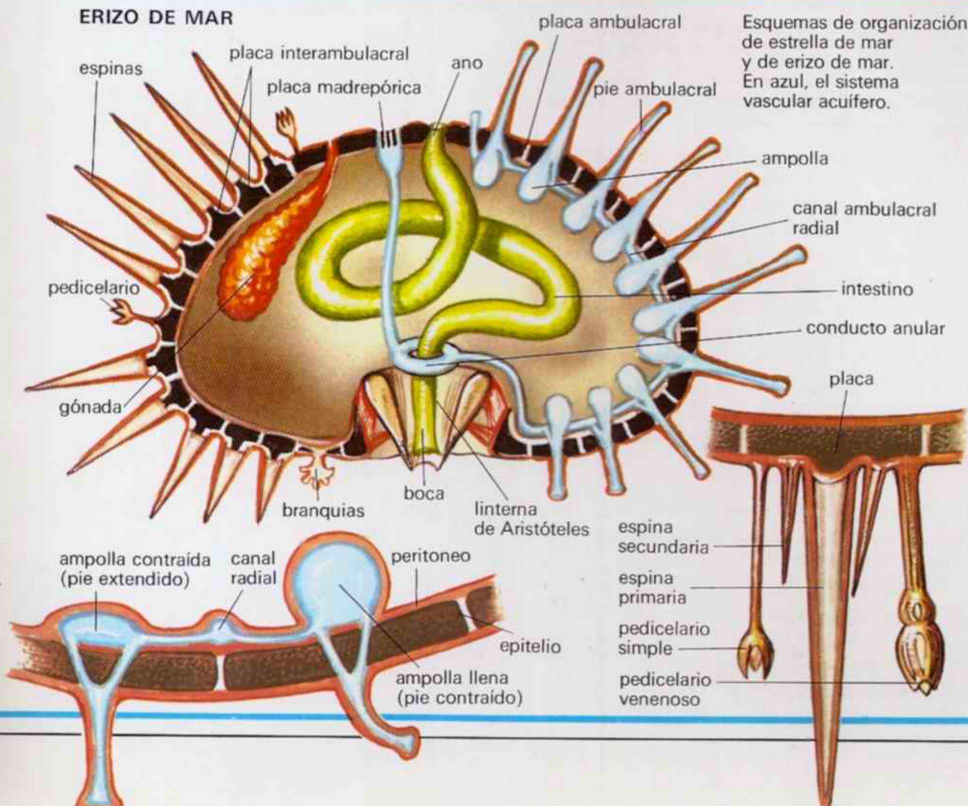


picamente (excepto en las holoturias), el esqueleto posee espinas que se proyectan hacia afuera, dando a la superficie corporal un aspecto rugoso o espinoso; de ahí el nombre de *equinodermos* (del griego *echinos*, "espina", y *derma*, "piel").

Uno de los rasgos más notables del grupo es la presencia de un *sistema vascular acuífero*, o *sistema hidrovascular*, que no se encuentra en ningún otro tipo de animales. Su función primitiva era probablemente la de recoger y transportar alimentos, pero en la mayor parte de estos seres ha adquirido una función locomotora, por lo que también se le denomina *sistema ambulacral*.

**Clasificación** Los equinodermos constan de unas 4.000 a 6.000 especies vivas y unas 20.000 extintas, o fósiles. Entre las especies vivientes se admiten cinco clases: clase Asteroideos (estrellas de mar), clase Ofiuroideos (ofiuras o estrellas serpiente), clase Equinoideos (erizos de mar), clase Holoturoideos (holoturias o cohombros de mar) y clase Crinoideos (lirios de mar o comátulas).

Todos presentan, como dijimos, un mismo plan de organización general, por lo que vamos a analizar la clase Asteroideos como modelo para fijar los caracteres básicos de la estructura y fisiología de los equinodermos.




Esquemas de organización de estrella de mar y de erizo de mar. En azul, el sistema vascular acuífero.

**Fisiología y anatomía de los Asteroideos** Típicamente, el cuerpo de las estrellas de mar está compuesto por un *disco* central del que parten prolongaciones, cuya base se confunde con el disco, llamadas *brazos*. El número de éstos suele ser cinco, aunque pueden presentarse hasta veinte brazos. Su longitud varía notablemente: en unos casos son tan cortos que el cuerpo de la estrella parece pentagonal, y en otros, por el contrario, son tan largos que la estrella completa puede llegar a medir hasta 90 centímetros de diámetro.

La boca se halla situada en la parte inferior del disco, y a esta zona —más la de los brazos— se la denomina *superficie oral*. La superficie opuesta o superior recibe el nombre de *superficie aboral*, que es donde se encuentra el *ano* y una estructura grande en forma de botón, la *madreporita* o *placa madrepórica*, que es el órgano que permite el acceso al sistema vascular acuífero, por donde se realiza el intercambio de agua.

Toda la superficie está cubierta por *espinas calcáreas*, que forman parte del esqueleto. Entre ellas se observan unas pequeñas protuberancias: las *branquias dérmicas* o *pápulas*, que sirven para la respiración y la excreción. La superficie del animal se mantiene limpia gracias a la acción de los *pedicelarios*, pequeños apéndices parecidos a mandíbulas que se encuentran entre las espinas y las branquias y que sirven también para la propia protección y para la captura de animales pequeños.

Si observamos la cara oral de una estrella de mar, nos damos cuenta de que desde la boca se extiende un surco ancho a cada brazo (*surco ambulacral*), el cual posee de dos a cuatro hileras de prolongaciones en forma de tubo que son los *pies ambulacrales*, componentes del sistema hidrovascular y órganos locomotores



En esta página se muestran algunos representantes de los equinodermos. Arriba, *Antedon mediterranea* (abajo, a la derecha, un esquema con un detalle del brazo provisto de tentáculos), representante de los Crinoideos. Vive fijo a un sustrato gracias a la presencia de formaciones especiales llamadas *cirros*. Su cuerpo es pequeño y tiene largos brazos flexibles recubiertos de tentáculos, dispuestos en todo momento a capturar presas que lleva la corriente. Abajo, un cohombro o pepino de mar, representante de los Holoturoideos. En la página siguiente: arriba a la izquierda, una ofiura (Ofiuroideos) y el esquema de inserción de los brazos. Es característico el cuerpo en forma de disco, del que salen los brazos largos, flexibles y provistos de fuertes placas esqueléticas; a la derecha, *Dorocidaris*, con esquema del esqueleto, provisto de larguísimas púas, representante de los Equinoideos.

del animal. Cada pie se comunica en el interior del cuerpo con una ampolla llena de líquido denominada *ampolla ambulacral*, que a su vez está comunicada con el resto del sistema acuífero. El agua entra por la madreporita y desciende por el *conducto pétreo*, hasta encontrar un anillo que rodea la boca (conducto anular). Del mismo parten cinco *canales radiales*, que van uno a cada brazo, ramificándose en numerosos conductos laterales que llevan el agua hacia las ampollas ambulacrales y el pie. Cuando la ampolla se contrae, el líquido que contiene es dirigido hacia el pie, que se alarga. Cuando el pie toca algún objeto, o el sustrato, el centro de la ventosa que posee en el extremo se retrae, produciéndose el vacío y la adherencia. Después los músculos longitudinales del pie se contraen y obligan al líquido a regresar a la ampolla. Este doble movimiento es el responsable del desplazamiento del animal.

Los erizos se mueven igualmente con este sistema. Las ofiuras extienden sus largos brazos y nadan libremente en el mar. Los lirios de mar están fijos al fondo, extendiendo sus brazos a la hora de alimentarse; y las holoturias se mueven, o bien por medio de los pies ambulacrales o bien por contracción y expansión de los músculos del cuerpo, cuyo revestimiento no es rígido.

La función de los pies no queda limitada a la locomoción, interviniendo también en procesos de respiración y en la recepción sensorial. Los pies captan estímulos procedentes de las fibras nerviosas de los nervios radiales de cada uno de los brazos. Estos nervios parten de un anillo nervioso central que rodea la boca, y se coordinan para permitir el movimiento de los pies en una dirección determinada.

Otro aspecto importante de los pies es su contribución a la nutrición, especialmente en los asteroideos. El aparato digestivo de éstos es corto, recto y radial, extendiéndose entre los lados oral y aboral del animal. La boca conduce a un esófago corto que se abre después en un estómago grande. De éste sale un intestino corto dirigido hacia la parte aboral del disco, donde se abre en forma de ano.

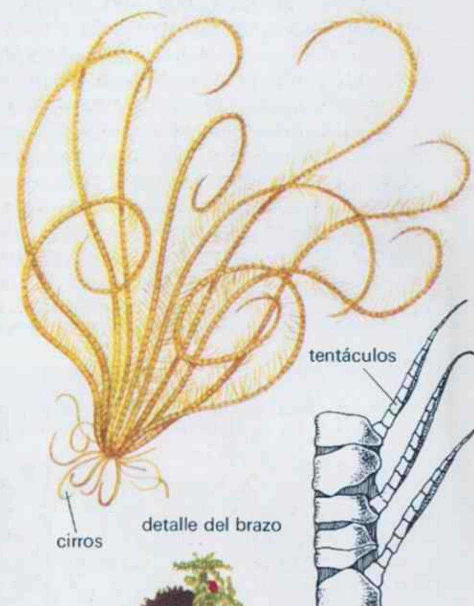
Los asteroideos son carnívoros, alimentándose de gasterópodos, bivalvos, crustáceos, poliquetos, otros equinodermos e incluso de peces muertos. Los otros grupos, sin embargo, tienen hábitos alimenticios diferentes. Los lirios de mar, por ejemplo, se alimentan de plancton, que capturan manteniendo los brazos contra corriente. Los erizos son principalmente herbívoros, es decir, que se nutren de algas. Las holoturias se alimentan de detritus y plancton, y para ello hacen sobresalir sus tentáculos altamente ramificados y barren con ellos el fondo o los mantienen flotando en el agua. Estos tentáculos poseen un mucus que retiene las partículas alimenticias, y de vez en cuando se introducen en la faringe; el alimento queda en el interior a medida que los tentáculos se dirigen de nuevo al exterior.

La forma en que se alimenta la estrella de mar es más espectacular, sobre todo cuando se trata de bivalvos (ostras, almejas). En estos casos, la estrella envuelve la concha con sus brazos y ejerce una fuerte presión para abrirla. En cuanto ha conseguido hacer una mínima abertura, introduce su estómago y deglute a la presa, digiriéndola en parte en el exterior de su cuerpo. Después retrae el estómago hacia el interior y termina la digestión, expulsando por la boca los materiales no digeribles.

**Regeneración y reproducción** La reproducción de la mayoría de los equinodermos tiene lugar a principios del verano. En esta época, huevos y espermatozoides son expulsados al exterior, donde se produce la fecundación. Los huevos que han sido fecundados pueden desarrollarse de distintas formas. El *desarrollo indirecto* es en general el sistema más común: el huevo, pasando por diversas fases de desarrollo, da origen a una larva que permanece flotando durante cierto tiempo y que se alimenta del plancton. Las larvas se caracterizan por presentar una simetría bilateral, es decir, que el cuerpo puede ser dividido en dos partes idénticas. En el siguiente estadio de desarrollo, la larva inicia la metamorfosis y baja a los fondos para convertirse en adulto, presentando ya la simetría radial pentámera que caracteriza a los equinodermos.

El *desarrollo directo* no implica un estadio larval: nuevos individuos se desarrollan directamente de los huevos. Estos suelen ser grandes y con gran cantidad de material nutritivo. En la fase inicial de su desarrollo son protegidos por el padre o la madre, dándose casos de incubación. Lo más normal, sin embargo, es que la madre o el padre posean una especie de bolsa en la superficie del cuerpo, que está destinada a llevar los huevos.

En buen número de equinodermos se da también una *reproducción asexual* (estrella de mar, por ejemplo). Esta suele implicar una división del disco central a lo largo de ciertas líneas definidas, de manera que el animal se divide en dos. Cada mitad regenera la parte que le falta.

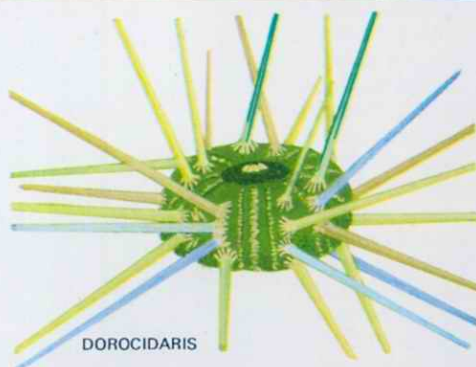


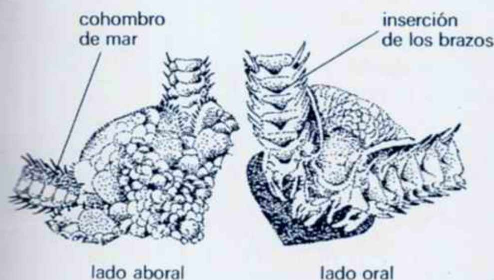


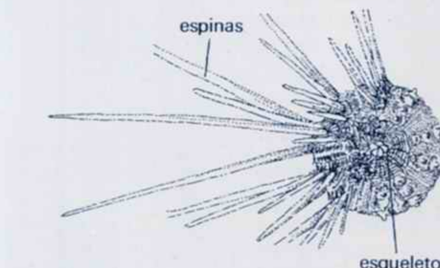

Tanto las estrellas de mar como los erizos pueden causar a veces graves daños económicos. Las estrellas pueden invadir los criaderos de ostras, haciéndolos desaparecer en poco tiempo si no se eliminan. Por otra parte, los erizos, al ser herbívoros, consumen gran cantidad de algas y dejan el sustrato pelado, lo cual es generalmente consecuencia de un desequilibrio ecológico que permite la proliferación excesiva de estos equinodermos.

Véase **Biología marina**






En esta página, abajo, se muestra un erizo de mar, *Sphaerechinus granularis,* y (encima) detalle del aparato mandibular, la linterna de Aristóteles, formada por cinco dientes con particulares formaciones esqueléticas.

Muchos equinodermos, como asteroideos, ofiuroideos y crinoideos, tienen además una notable capacidad de regeneración, pudiendo incluso autoamputarse o desprenderse de uno o más brazos cuando son atacados o apresados por un enemigo. La línea de sección puede estar en cualquier punto fuera del disco, regenerándose la porción perdida. En algunas especies puede regenerarse el animal completo a partir de un trozo de disco y un trozo de brazo. La regeneración es sumamente lenta, y en general suele transcurrir un año para que se produzca la renovación completa.

**Importancia ecológica** Los equinodermos tienen un importante papel en la cadena alimentaria. Su elevadísima producción de larvas contribuye en alto grado a los flujos de energía a través de las comunidades planctónicas y hacia la bentónica. Por otra parte, los equinodermos se han revelado muy útiles en la investigación científica. El estudio de las modalidades de desarrollo de los huevos ha permitido resolver numerosos problemas de Embriología general y experimental. De hecho, los huevos de los erizos tienen un rápido desarrollo incluso en laboratorio, lo que permite a los investigadores seguirlo de cerca.

Algunas especies tropicales de holoturias expelen una toxina mortal para muchos otros organismos marinos. Este fenómeno ha sido explotado por los habitantes de algunas islas del Pacífico, quienes arrojan trapos deshechos por las holoturias en aguas abundantes en peces. Estos se aturden y durante cierto tiempo quedan casi inmóviles, pudiendo ser capturados fácilmente por los pescadores.

En el VI Congreso de la Asociación Internacional de Ergonomía (cuyo lema era: "Viejo Mundo, Nuevo Mundo, un solo Mundo"), uno de los fundadores de la organización comentó las objeciones que se pusieron a la adopción del nombre *Ergonomía* cuando se constituyó la asociación en 1950: "Se dijo que era feo, incomprensible y que se podía confundir con Economía." A continuación rebatió estos argumentos explicando que la misma fealdad del nombre ayuda a recordarlo, que tiene mucho que ver con la Economía y que el término describe exactamente su campo de acción: las leyes o costumbres del trabajo.

La Ergonomía es una ciencia interdisciplinar que se basa en las contribuciones que aportan médicos, fisiológos, fisioterapeutas, anatomistas, psicólogos, ingenieros, físicos, diseñadores, profesores, expertos en comunicación, antropólogos, biólogos, sociólogos, zoólogos, programadores de ordenadores, adiestradores de animales, etc. Abarca muchos sectores: Biomecánica; Bioingeniería; Psicología perceptiva; Antropometría; el estudio del tiempo y del movimiento, de sistemas hombre/máquina, y la ingeniería de los factores humanos.

**Tipos de trabajos** Los ergonomistas analizan cómo interaccionan los sistemas hombre/máquina e intentan reducir o equilibrar el *stress* y la fatiga fisiológica y psicológica producidos por el trabajo. Asimismo tratan de minimizar los errores y optimizar el rendimiento, la seguridad y el bienestar, mejorando el ambiente de trabajo y sus componentes, tales como el equipo, la organización de los trabajos, la distribución de competencias y los programas de instrucción. ¡Inténtese decir todo esto con una sola palabra!

El sector empezó a perfilarse durante la II Guerra Mundial. Los expertos militares estadounidenses e ingleses pensaron que los recursos se habían utilizado muy ineficazmente durante la I Guerra Mundial y buscaron técnicos en la materia que idearan cuestionarios para su disposición e incluso sugirieran nuevos tipos de aplicaciones. Posteriormente se fabricó una partida de aviones caza que tenía el único defecto de que los pilotos no podían entrar en el habitáculo. Los expertos en relaciones humanas sugirieron que trabajaran en las fábricas, junto a los ingenieros, equipos de antropometristas (especialistas en medidas del cuerpo humano), fisiológos (expertos en el funcionamiento y movimiento del cuerpo) y psicólogos perceptivos (que estudian cómo procesa la mente la información que le proporcionan los sentidos). Tras esta experiencia la industria cambió.

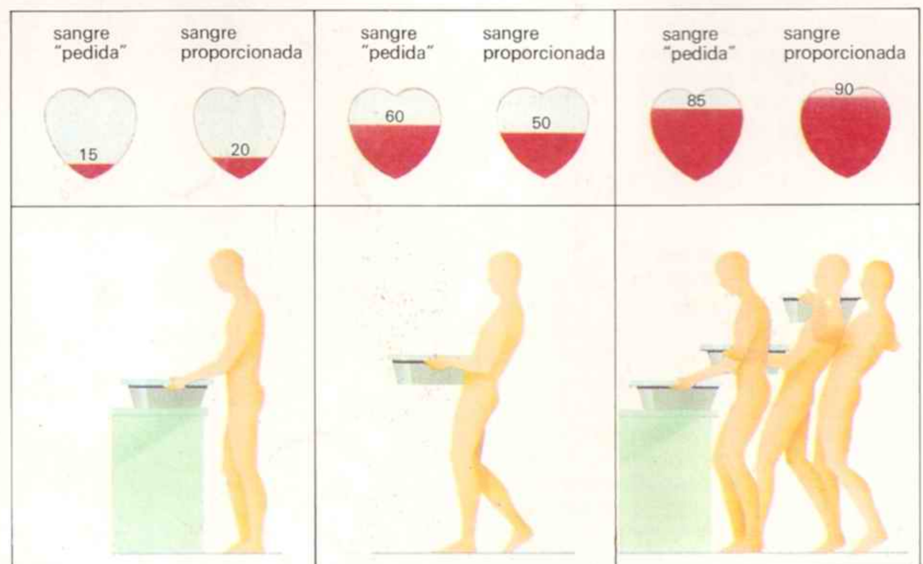
Descubriéndose unos a otros, revelando sus nombres y desarrollando tareas en la vida civil, los ergonomistas se dieron cuenta de que sus raíces se remontaban por lo menos hasta Hipócrates, el padre de la Medicina, que comentó las enfermedades debidas al trabajo en sus estudios sobre los vendimiadores. En 1713, Bernardo Ramazzini, en su obra *Las enfermedades de los trabajadores*, recogió los efectos nocivos de los movimientos irregulares y violentos en los mineros y en los trabajadores del metal.

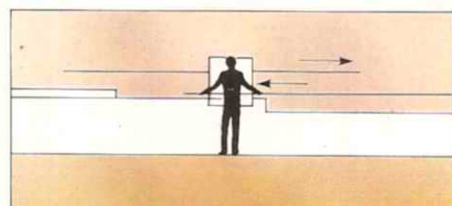
**¿De qué lado está la Ingeniería actual?** Hacia 1890, Frederik Taylor cronometró los movimientos de los obreros de la acería Bethlehem y les obligó a moverse al mismo tiempo. Los especialistas en el factor humano insisten en que Taylor es un desafortunado caso límite y mantienen que la salud, la seguridad y el bienestar del trabajador son la mejor garantía para obtener una alta productividad. Uno de los temas de estudio de mayor actualidad lo constituyen los efectos que los terminales de núcleo tienen sobre la salud.

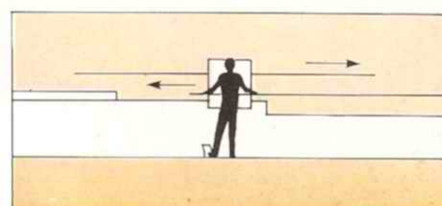
Los biónicos unen conocimientos biológicos con teorías de mecánica tomadas de la Física y la Ingeniería, elaborando dispositivos ortopédicos y prótesis sintéticas para partes del cuerpo humano. Puesto que estudian temas como las fuerzas sobre los huesos humanos y los procesos de locomoción, sus investigaciones están siendo muy útiles en campos como el del deporte y el de la medicina de rehabilitación, éste todavía en vías de desarrollo.

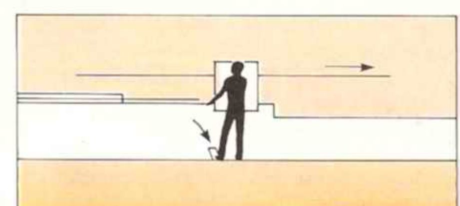
Las investigaciones realizadas en momentos de guerra sobre los efectos de la aceleración repentina en los vuelos, la indumentaria protectora contra el frío y el calor, las radiocomunicaciones, los paneles de instrumentos para aparatos complejos de alta velocidad e incluso sobre el aburrimiento durante el servicio han tenido una clara aplicación en tecnologías postbélicas, como los vuelos espaciales, los ordenadores y la energía nuclear. A partir de la fuga radiactiva en la central Three Mile Island (EE UU), los ergonomistas han tenido que trabajar en la protección de los paneles de mando de instalaciones de energía nuclear y en los programas de preparación de los trabajadores para reducir las posibilidades de errores humanos. Existen personas en el mismo campo que están estudiando la manera de concentrar la programación de la producción y consumo de energía y de la industria en relación con los problemas graves y urgentes surgidos por la carestía de combustibles fósiles y por la destrucción del medio ambiente.

Véase **Aviónica; Bioingeniería; Cerebro; Fisiología; Ordenador, arquitectura de un**







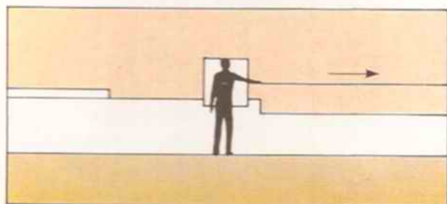
La secuencia de figuras ilustra la realización de una investigación ergonómica: el analista de tiempos observa objetivamente los distintos movimientos que realiza el operario, estimando su duración, complejidad y secuencia según las exigencias del trabajo. Teniendo en cuenta estos esquemas, se escucharán después las opiniones de los operarios directamente relacionados con el trabajo y las del personal especializado como médicos,

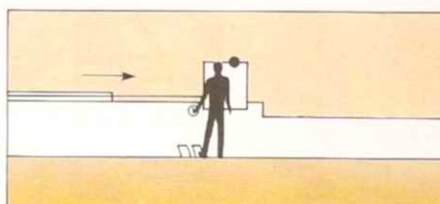


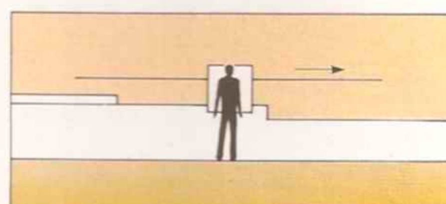
Renault

En el esquema reproducido en la página anterior se recogen las diferencias que existen entre la cantidad de sangre que los músculos "piden", en relación al tipo de trabajo, y la cantidad proporcionada por el corazón. A la izquierda, trabajo cardiovascular en condiciones de reposo; en el centro, trabajo estático y a la derecha, trabajo dinámico. En esta página, a la izquierda, modelo de diversas cargas de trabajo.

A lo largo de las 24 horas del día, el organismo humano presenta una tendencia al trabajo con gran rendimiento por la mañana y hasta media tarde (*fase ergótropa*), y una tendencia al descanso por la noche (*fase trofótropa*). El rendimiento en el trabajo (igual que en otras actividades) presenta un determinado ritmo a lo largo de la jornada, como se deduce del esquema superior.





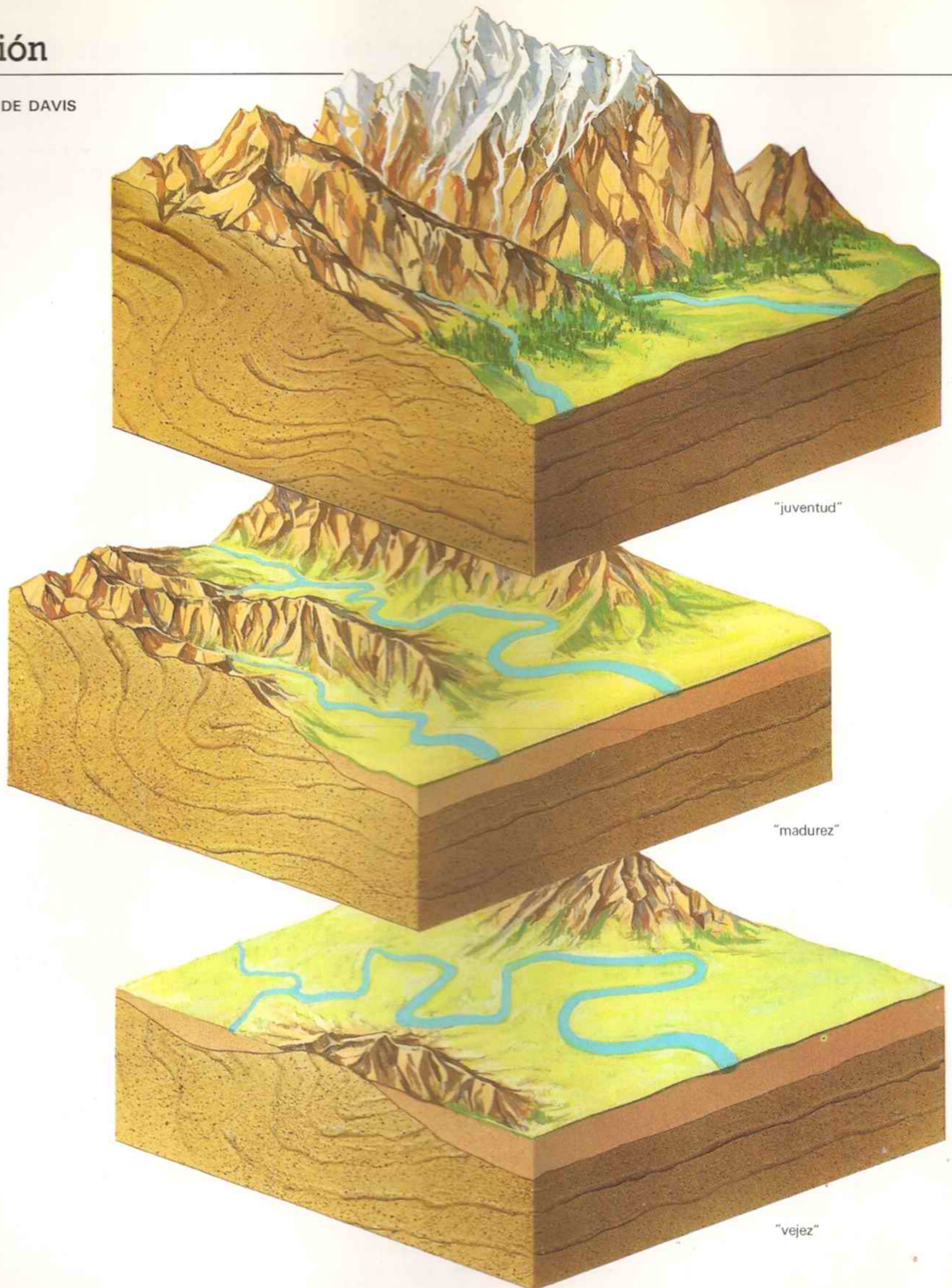


fisiólogos, psicólogos, diseñadores y arquitectos. El conjunto de todas las observaciones permitirá una más correcta valoración del trabajo realizado, una reducción del mismo, una mejora del grado de especialización y el consiguiente aumento de la participación del obrero en la vida de la empresa.

En Ergonomía es fundamental la construcción de modelos válidos. En la secuencia sobre estas líneas, un modelo de distintas cargas de trabajo.

# Erosión

CICLO DE DAVIS



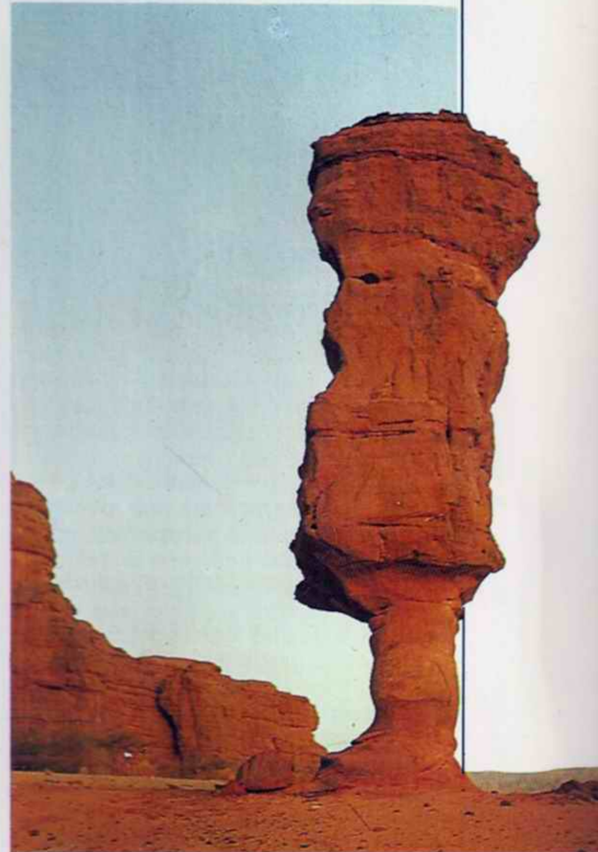

La imagen superior ilustra los tres estadios fundamentales del ciclo de Davis o de erosión. El primero, representado arriba, es el estadio de "juventud". Es característico de las cadenas montañosas en fase de levantamiento activo, en las cuales es máximo el desnivel entre las cotas más altas, donde las aguas corrientes comienzan a formar pequeños arroyos, y las cotas más bajas (a nivel del mar o a nivel de las llanuras aluviales), donde la velocidad de las aguas se va reduciendo hasta anularse totalmente su capacidad erosiva. Característicos de este estadio son los valles fluviales profundos y escarpados, pendientes abruptas y paredes acantiladas. En la figura del centro se representa el estadio correspondiente a la "madurez", durante el cual se manifiestan los resultados de la labor llevada a cabo por las aguas en el período precedente: las asperezas del paisaje joven se pueden considerar desaparecidas; los valles son más amplios, con laderas menos pendientes y el fondo cubierto por materiales aluviales más o menos aterrazados, y desembocan en amplias llanuras aluviales. El tercero es el estadio terminal, al que conduce finalmente el proceso erosivo: es el de la "vejez". De las cadenas montañosas preexistentes no quedan más que trazas: elevaciones redondeadas cuyas laderas descienden casi sin discontinuidad hacia las amplias llanuras aluviales. Lo que queda es una "casi llanura" (penillanura), sobre la que las aguas corrientes no tienen ya fuerza para producir erosión, y ésta es más lenta.

La superficie de la Tierra dista mucho de ser uniforme. Por el contrario, tiene irregularidades y protuberancias y se eleva hacia el cielo en largas cadenas montañosas separadas por profundos valles. Los agentes de erosión: agua, viento, hielo y gravedad, actúan combinadamente sobre los distintos medios de múltiples maneras (excavando, por ejemplo, valles profundos, modificando el perfil de las costas o creando las dunas del desierto). La erosión es un fenómeno de transporte natural. El más común de los agentes erosivos, el agua, hace rodar grandes bloques rocosos ladera abajo en las montañas, y arrastra granos de arena hacia el valle cambiando al mismo tiempo la inclinación de la pendiente, depositando el material erosionado en la base de la ladera, dando lugar a la formación de llanuras aluviales y haciendo que adquieran una nueva forma las rocas transportadas aguas abajo.



El agua erosiona también en estado sólido. En las cadenas montañosas o en latitudes elevadas, las precipitaciones suelen ser casi siempre de tipo nival. La nieve funde en primavera, alimentando torrentes y ríos. Sin embargo, por encima de unas ciertas cotas, en el límite de las nieves perpetuas, una parte permanece sin fundir y se transforma en hielo, que por la acción de la gravedad descenderá hacia el valle arrastrando diversas piedras consigo y ejercerá sobre las paredes rocosas una fuerte acción erosiva. En la imagen, valle excavado por un glaciar.

**Erosión del agua** La mayor parte del agua de lluvia que cae sobre una montaña discurre por la superficie, laderas abajo, siguiendo la conformación del terreno; mientras el agua desciende por gravedad, arrastra consigo partículas de roca y granos de tierra hacia el pie de la pendiente. Cualquier planta, árbol, arbusto o hierba, que crezca en la ladera frena el movimiento del agua, absorbiendo una pequeña parte para sus propias necesidades y amortiguando el ímpetu erosivo y de transporte de la misma. Estas aguas superficiales, llamadas por ello de *escorrentía*, van excavando gradualmente cárcavas y barrancos que modifican la topografía de las laderas. Los torrentes y los ríos son los canales naturales por los que circula el agua camino del mar siguiendo una determinada dirección pendiente abajo. Parte de las sustancias químicas que forman las rocas pueden disolverse en el agua y ser transportadas en disolución. Los detritus que quedan después de la alteración química de la roca consisten en fragmentos minerales del tamaño de la arcilla y la arena, que son transportados mecánicamente, en suspensión por la corriente, bien en forma de flujo laminar o turbulento pero sin combinarse químicamente con





Lino Pellegrini

Además de las aguas corrientes y los glaciares, hay otro factor de la erosión que no es menor en importancia: se trata del viento. Está presente con mayor o menor intensidad en toda la superficie de la Tierra, y, como factor erosivo y de transporte, es el protagonista en las zonas más áridas, cálidas o frías de nuestro planeta. La acción erosiva del viento se debe a los materiales que transporta: partículas de arena o polvo muy finas que el viento levanta y puede llevar a miles de kilómetros de distancia. Al chocar contra las rocas, las partículas de arena actúan como un verdadero esmeril, como lo demuestra la roca desgastada por el viento de la foto superior. Cuando disminuye la velocidad del viento, los materiales que transporta se depositan sobre el terreno. Las dunas desérticas, a la izquierda, constituyen un depósito eólico típico.









ella. Los fragmentos rocosos de grandes dimensiones, cantos rodados y bloques, bajan transportados por rodadura sobre el lecho del torrente. Durante el arrastre, chocan entre ellos, desgastándose y rompiéndose en fragmentos más pequeños. La cantidad de agua transportada por un río o un torrente, junto con la velocidad de su caída, determina la capacidad erosiva de la escorrentía, y por ello la rapidez con la que las formas del relieve fluvial —valles, cascadas, rápidos y cavernas— irán siendo reducidas y eliminadas del paisaje. Los ríos y los torrentes son un agente de transporte de materiales rocosos más eficaz que el resto de los agentes erosivos juntos. Además de la escorrentía superficial, una parte del agua de lluvia se infiltra y circula bajo la superficie del terreno. Estas aguas subterráneas contienen dióxido de carbono absorbido en la atmósfera en el transcurso de la precipitación. El dióxido de carbono facilita la disolución de algunos minerales, como los carbonatos, que son el componente principal de las rocas sedimentarias calizas. Las simas y las cavernas subterráneas se han originado en macizos de estas rocas gracias a este proceso llamado *carstificación*. Es una forma de erosión química, en contraposición con los fenómenos físicos o mecánicos, como la abrasión (desgaste por fricción) y la disgregación (desmoronamiento debido, por ejemplo, a cambios bruscos de temperatura). Cuando el agua cae en forma de nieve y se acumula en la

La acción de las aguas corrientes, bien ilustrada por la foto de aquí abajo, en la que se aprecia una densa red de cárcavas, cesa completamente en el límite entre el mar y la tierra firme. En el mar, a pesar de que las corrientes costeras ejercen una acción de transporte, el mecanismo erosivo más importante lo constituye el movimiento de las olas. Arriba, la génesis de un farallón: el movimiento de las olas, orientado por las formas de la costa, actúa profundamente en los puntos más débiles de un macizo rocoso, llegando a aislar partes del mismo dentro del mar. Ya en la página siguiente, las dos fotos del centro (en blanco y negro) corresponden a la superficie de Venus captada por la sonda *Venus-10*. Muestran un suelo cubierto de cantos y bloques de aristas predominantemente →




NASA

La erosión no es un fenómeno específico de nuestro planeta. Se pueden ver aquí varios ejemplos de erosión en otros cuerpos del Sistema Solar: a la izquierda, en Marte; abajo, en Venus; y abajo del todo, en la Luna. Los mecanismos de erosión predominantes son, naturalmente, muy distintos de los de la Tierra. En Marte por ejemplo, falta por completo el agua en estado líquido, y los mecanismos de modelado de la superficie corren a cargo, sobre todo, del viento, como lo demuestran los cantos sueltos y la arena del suelo en la foto tomada por el *Viking 1*.

alta montaña, termina compactándose y convirtiéndose en hielo, dando lugar a los glaciares. Un glaciar en movimiento posee una capacidad de transporte tal que es capaz de englobar en su masa bloques rocosos de dimensiones gigantescas. Los glaciares excavan cuencas de erosión y amplios valles con forma típica en U y, cuando se retiran, dejan en su frente, en el lecho y en los márgenes depósitos morrénicos (pequeñas colinas de forma oval) formados por los detritus rocosos transportados por el hielo. Las olas que chocan contra una playa remueven y arrastran la arena, modificando así la línea costera. Las potentes olas ejercen una fuerza hidráulica tal que es capaz de levantar y remover grandes rocas de la costa. La acción constante del oleaje y de las corrientes marinas origina la formación de columnas, arcos y acantilados, así como de ensenadas y playas a lo largo de la línea litoral.

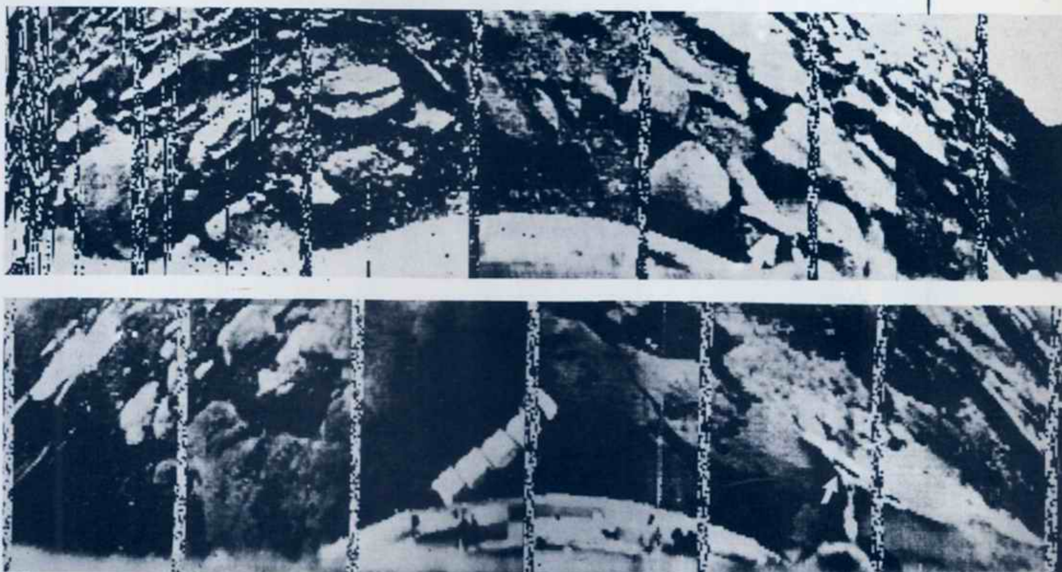
**Otras fuerzas erosivas** Donde el clima es árido y la cobertera vegetal es por lo tanto escasa, el viento levanta partículas de arena y fragmentos sueltos de roca y los transporta a distancias a veces muy grandes. Los desiertos son especialmente vulnerables a la acción del viento, que da lugar a las dunas por la acumulación de arena transportada. La arena es recogida en la base de la ladera de la duna en dirección del viento (sotavento) y es levantada hasta la cresta de la misma, desde donde rueda de nuevo hasta la base del lado opuesto (barlovento), lo que se traduce en el desplazamiento a veces muy rápido de la duna sobre la superficie del terreno. Si el viento arrastra todas las partículas de arena de una región, el proceso se llama *deflación*, y deja depresiones en la superficie originaria.

Por efecto del viento, amplias zonas del desierto quedan desprovistas de arena, mientras que los materiales más pesados y voluminosos permanecen en el sitio (hamada, reg, serir, etcétera).

La gravedad es una forma de erosión también eficaz. La acción de la fuerza gravitacional sobre las masas de la superficie terrestre provoca la caída de rocas, fenómeno que se denomina *desprendimiento*. Los resbalamientos o corrimientos de laderas son también espectaculares, por la rapidez de los mismos, mientras que el *deslizamiento* es un movimiento más lento, pero no por ello menos real y en algunos casos catastrófico.

También la actividad humana puede ser un importante agente erosivo. La actividad minera (especialmente la realizada a cielo abierto), la extracción en canteras y las prácticas agrícolas, entre otras, modifican la superficie de la Tierra, alterándola a menudo negativamente, dejándola expuesta a ulteriores daños y originando a veces cambios a menudo irreversibles en el paisaje.

Véase **Agua; Aguas subterráneas; Corrimientos de tierras; Glaciar; Grutas y cavernas; Río; Viento**


Novosti →

redondeadas; también (arriba en el centro) se ven profundos surcos. Este aspecto es debido a una atmósfera densa, muy caliente y probablemente muy agresiva desde el punto de vista químico. Las dos fotos bajo estas líneas, que muestran dos cráteres lunares, son el testimonio de una fase de la evolución del Sistema Solar durante la cual un mecanismo era particularmente activo e incluso predominante: el debido a la caída de meteoritos, que han excavado cráteres grandes y pequeños según la magnitud del impacto. También la Tierra ha atravesado una fase de este tipo, pero la acción de los demás mecanismos erosivos ha borrado posteriormente la mayoría de sus huellas.





# Escala musical

Imagínese un músico del año 1000 a. de C. que quiere acompañar una de sus canciones con un instrumento musical: si fija algunas cuerdas al caparazón de una tortuga y las pellizca, puede comprobar cómo cuanto más tensa está la cuerda, más alto es el tono que se produce. Nuestro músico primitivo se encuentra frente al problema de cuáles son exactamente los sonidos que quiere producir pulsando las cuerdas de esta "guitarra."

Desde el momento en que se seleccionan los sonidos que se quieren utilizar, se está creando una escala musical.

**Terminología básica** Desde la antigüedad griega, en la música occidental, una escala era una serie de ocho notas (*do-re-mi-fa-sol-la-si-do*) de altura creciente. La nota más alta de la escala tiene el mismo nombre que la más baja.

Para obtener una demostración de ello, basta pulsar una tecla cualquiera del piano y tocando hacia la derecha las teclas blancas una tras otra, hasta un número de ocho, se descubrirá que la última nota, u *octava*, suena igual a la de partida.

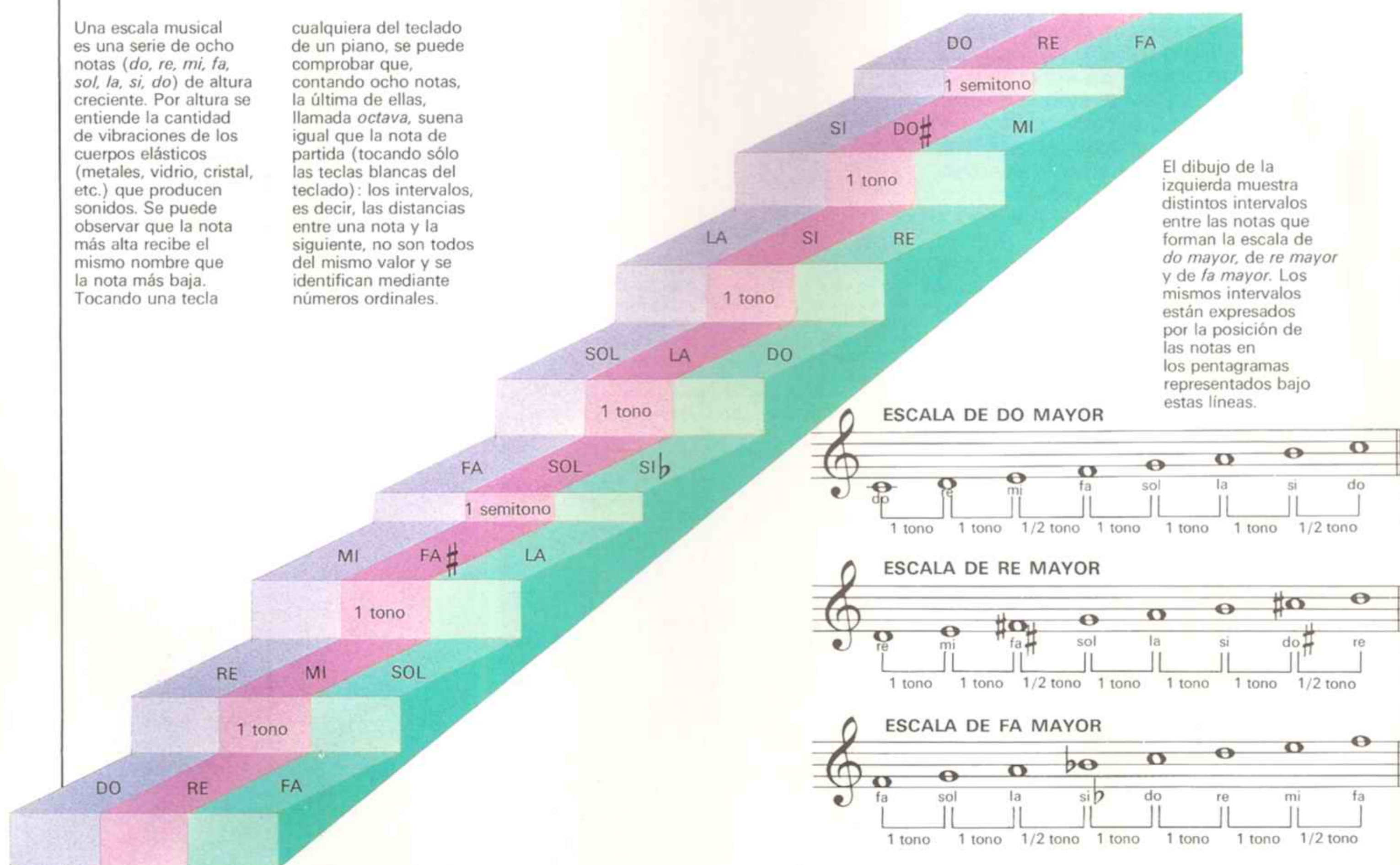
Mientras suenan las notas, se puede observar que los intervalos entre cualquier nota y la que le sigue no son siempre iguales: los intervalos *mi-fa* y *si-do* son semitonos, lo que se puede deducir por la ausencia de teclas negras entre estas notas en el teclado. Un tono, como por ejemplo *re-mi*, equivale a dos semitonos. Las distancias entre notas se llaman *intervalos*, y se identifican con números ordinales; por ejemplo: de *do* a *sol* hay cinco notas, *do-re-mi-fa-sol*, por lo que el intervalo entre *do* y *sol* es un intervalo de quinta.

**Historia** Uno de los primeros intentos de construir una escala musical sobre una base racional se debe a Pitágoras, en el siglo VI a. de C., quien, realizando experimentos con una cuerda tensa sobre una caja de resonancia, fue capaz de establecer las relaciones matemáticas correspondientes a algunos intervalos. Comenzó dividiendo la longitud de la cuerda en dos partes, es decir, en la relación 2:1 respecto a la longitud inicial total. La nota producida por tal división en dos mitades iguales era una octava más alta que la vibración de la cuerda entera. Así pues, la relación de una octava, que convencionalmente utiliza numerales más altos para indicar las notas más altas, es exactamente de 2:1. De esto se puede deducir que la altura de la nota producida es inversamente proporcional a la longitud de la cuerda: cuanto más corta es la cuerda, más alta es la nota. Ello se debe a que una cuerda vibra a mayor velocidad cuanto menor es su longitud, siempre que el grosor y la tensión sean idénticos.

Pitágoras descubrió también que dividiendo la cuerda en la relación 3:2, producía un intervalo de una quinta. Esta quinta acústicamente pura es la que Pitágoras utilizó como base de los sonidos de su escala. Algunos teóricos del siglo XVI prefirieron justificar sus escalas matemáticamente, sobre la base de una serie de componentes. Descubrieron que cuando se pulsa una cuerda, ésta vibra no solamente en su propio tono, sino en varias subdivisiones más. Las dos mitades de una cuerda vibran separadamente, produciendo el primer armónico una octava más alta que el sonido fundamental, exactamente como en el experimento de Pitágoras. La cuerda vibra también en tres partes iguales, produciendo un tercer armónico; el cuarto armónico se produce por la vibración de cada cuarto de cuerda, y así sucesivamente: cada división produce un armónico.

En el sistema abstracto de "pura entonación", todos los sonidos deben derivar de intervalos correspondientes a armónicos. La tercera de *do* a *mi*, por poner un ejemplo, es la misma tercera pura que existe entre el cuarto y quinto armónicos de un sonido que tenga a *do* como tono fundamental.

Tanto el sistema de Pitágoras como los de la entonación pura eran considerados de poco valor práctico, ya que en el cam-




Una escala musical es una serie de ocho notas (*do, re, mi, fa, sol, la, si, do*) de altura creciente. Por altura se entiende la cantidad de vibraciones de los cuerpos elásticos (metales, vidrio, cristal, etc.) que producen sonidos. Se puede observar que la nota más alta recibe el mismo nombre que la nota más baja. Tocando una tecla cualquiera del teclado de un piano, se puede comprobar que, contando ocho notas, la última de ellas, llamada *octava*, suena igual que la nota de partida (tocando sólo las teclas blancas del teclado): los intervalos, es decir, las distancias entre una nota y la siguiente, no son todos del mismo valor y se identifican mediante números ordinales.

El dibujo de la izquierda muestra distintos intervalos entre las notas que forman la escala de *do mayor*, de *re mayor* y de *fa mayor*. Los mismos intervalos están expresados por la posición de las notas en los pentagramas representados bajo estas líneas.

po de las manifestaciones musicales contemporáneas resultaban, en ciertos intervalos, no estar perfectamente entonados (crecientes o decrecientes). Las líneas melódicas cantadas o tocadas con instrumentos de cuerda tendían a los intervalos de Pitágoras, mientras que los acordes tendían a la entonación pura.

**Sistema de temperación** Al final los músicos empezaron a utilizar lo que llamamos un *sistema de temperamento igual* para afinar sus instrumentos; una escala temperada tiene uno o más de sus sonidos con una especial entonación (ligeramente decreciente o creciente), de modo que el oyente no percibe las discrepancias. El sistema temperado que surgió en el siglo XVIII se utiliza todavía en la actualidad: es el sistema de temperamento igual en el cual la octava está dividida en doce semitonos iguales.

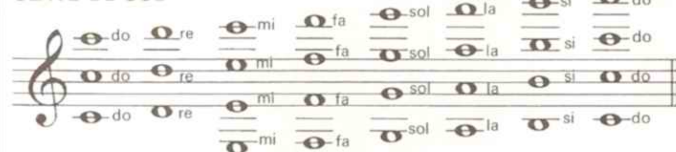
**Escalas mayores y escalas menores** Durante los últimos cuatro siglos, las escalas más importantes de la música occidental han sido las *escalas mayores* y las *escalas menores*. Ambas son diatónicas, es decir, están compuestas por cinco tonos y dos semitonos. La escala mayor tiene un semitono entre el tercer y el cuarto grados y otro entre el séptimo y el octavo. Todos los demás son intervalos de un tono. La escala mayor se puede escuchar en el piano tocando las teclas blancas *do-re-mi-fa-sol-la-si-do*; en la escala menor, un semitono se encuentra entre el segundo y el tercer grados, y el otro entre el quinto y el sexto. Gracias al sistema de temperamento igual, se puede hacer sonar una escala mayor o menor partiendo de una nota cualquiera. Una pieza musical se dice que está en "clave de *re* menor" si está basada sobre los sonidos de una escala menor que tiene en el *re* su nota más baja, denominada *fundamental*.

Otras escalas de notable importancia son las *cromáticas*, formadas por doce sonidos y con intervalos exclusivamente de semitonos, y las *escalas pentatónicas*, con cinco notas, generalmente utilizadas en la música folklórica de muchos países.

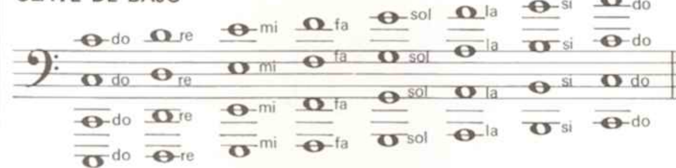
Una escala de este tipo se puede escuchar tocando sólo las teclas negras de un piano, desde un *re bemol* hasta un *si bemol*. Muchas escalas distintas, incluso algunas que difieren notablemente de las escalas diatónicas occidentales, se pueden encontrar en la música de la India, Japón, Java, Corea y otros países.

Véase **Acústica; Instrumentos musicales**

CLAVE DE SOL



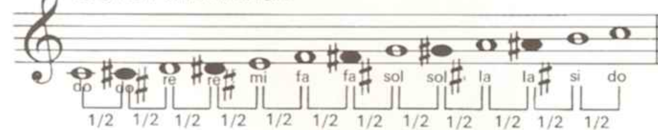

CLAVE DE BAJO



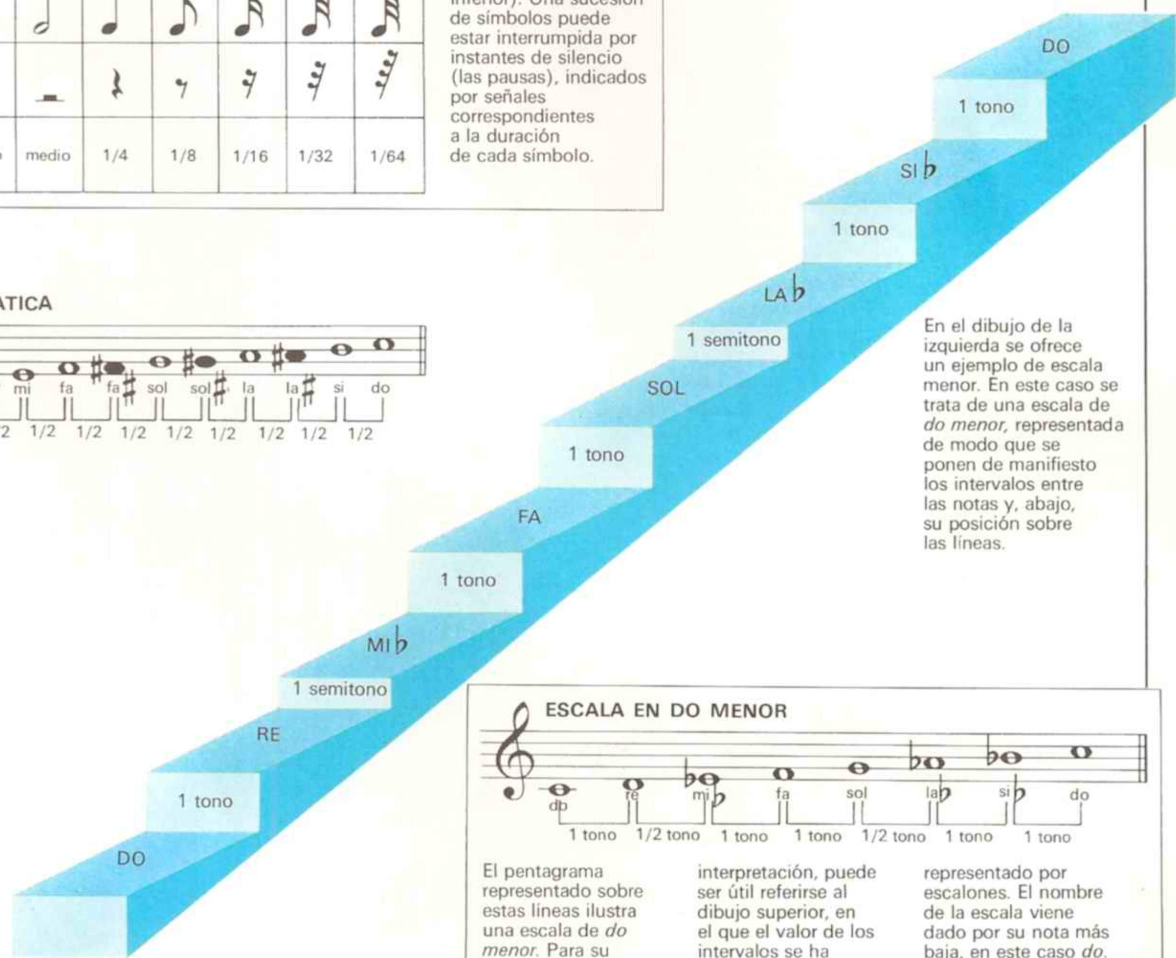

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FIGURAS | | | | | | | |
| PAUSAS CORRESPONDIENTES | | | | | | | |
| VALOR | entero | medio | 1/4 | 1/8 | 1/16 | 1/32 | 1/64 |

La *clave* es una indicación que se pone al inicio de cada renglón. La más utilizada es la clave de *sol*. En ella la posición de *sol* es la segunda línea. Siguiendo en orden ascendente, se tendrán sucesivamente las notas *la, si, do, re, mi, fa, sol*, etc., y en sentido descendente: *fa, mi, re, do, si, la, sol, fa*, etc. A la izquierda se puede ver también la posición de las notas en clave de *fa* o de bajo. La duración de los sonidos se determina por siete símbolos (tabla inferior). Una sucesión de símbolos puede estar interrumpida por instantes de silencio (las pausas), indicados por señales correspondientes a la duración de cada símbolo.

ESCALA CROMATICA

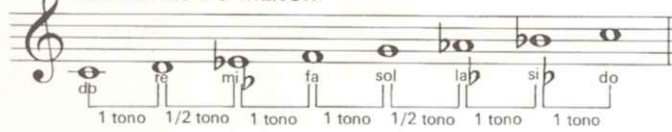



Una sucesión de semitonos da lugar a la *escala cromática* o semitonada. Su proceder está regulado por la tendencia de las alteraciones, con los sostenidos al subir (véase el pentagrama de arriba) y los bemoles al bajar.




En el dibujo de la izquierda se ofrece un ejemplo de escala menor. En este caso se trata de una escala de *do menor*, representada de modo que se ponen de manifiesto los intervalos entre las notas y, abajo, su posición sobre las líneas.

ESCALA EN DO MENOR




El pentagrama representado sobre estas líneas ilustra una escala de *do menor*. Para su interpretación, puede ser útil referirse al dibujo superior, en el que el valor de los intervalos se ha representado por escalones. El nombre de la escala viene dado por su nota más baja, en este caso *do*.

# Escalera mecánica

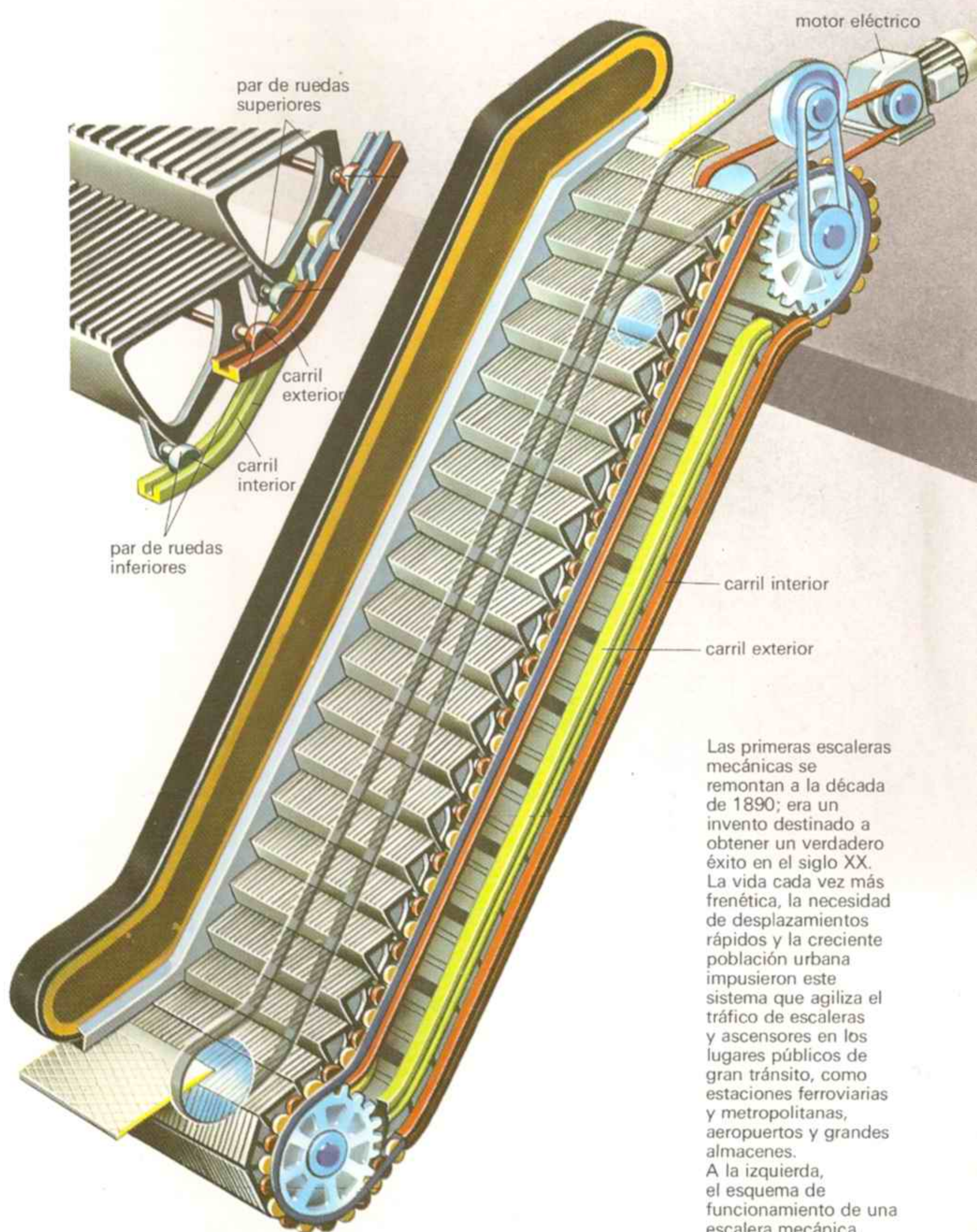
El hombre ha buscado nuevos métodos para hacer que su vida sea algo más cómoda y más tranquilos los afanosos deberes de su agitado y abarrotado mundo. Una consecuencia de esto es la invención de máquinas como, por ejemplo, la escalera mecánica, el procedimiento más eficaz para trasladar un gran número de personas de un nivel a otro a un ritmo controlado y constante. En los primeros años de la década de 1890, Jesse Reno y Charles Seeberger, trabajando cada uno por separado, fabricaron dos modelos diferentes de escalera mecánica.

En su forma más simple, la escalera mecánica consiste en una serie de peldaños montados entre dos cadenas sin fin; permitiendo así a las personas desplazarse de un piso a otro simplemente permaneciendo de pie sobre un escalón. El nombre *escalera mecánica* se introdujo como nombre comercial por la Otis Elevator Company en la Exposición de París de 1900, pero pronto se transformó en un nombre común. Las escaleras mecánicas llegaron a ser bastante usuales en los años cuarenta y hoy se utilizan mundialmente en los grandes almacenes, en los aeropuertos, en las estaciones ferroviarias y en la mayoría de las áreas de tráfico peatonal muy intenso, en las que se necesita el desplazamiento de un nivel a otro.

**Un paso más allá del ascensor** Aunque la función de la escalera mecánica no sea sustancialmente distinta de la del ascensor, sus ventajas con respecto a una cabina que se mueve según una trayectoria vertical se hacen pronto evidentes. Una escalera mecánica puede utilizarse para el transporte continuo de un número de personas mucho más elevado que el de un ascensor y puede transportar, en cualquier lugar, desde 5.000 a 10.000 personas por hora, según su anchura y su velocidad. La anchura de las escaleras mecánicas varía entre 60 cm y 1,2 m, la velocidad de trabajo es de 27 a 54 metros por minuto y su inclinación está normalmente comprendida entre los 30° y los 35°. Otras ventajas que las escaleras mecánicas poseen sobre los ascensores son la posibilidad de su utilización como medio de unión entre un piso y otro aun cuando estén fuera de servicio y la de invertir su sentido de funcionamiento para satisfacer los cambios en el sentido del tráfico.

**Entrada y salida de las subidas y bajadas** Accionada electrónicamente por un motor situado en el tramo superior, la escalera mecánica es guiada por dos cadenas sin fin a las que están unidos los peldaños por medio de un bastidor, generalmente de aluminio. Los peldaños están sostenidos por pequeñas ruedas de goma o nylon que discurren sobre un rail de guía de acero y que sitúan los escalones de forma que se nivelen en las partes superior e inferior de la escalera, donde (según el sentido del movimiento) entran o salen de la plataforma acanalada. Las cadenas, en la base de la escalera, engranan alrededor de ruedas dentadas y, durante el camino de vuelta de los peldaños, corren sobre unas ruedas tensoras hasta engranar, en la parte superior de la rampa, con las ruedas dentadas motrices, que están unidas a los extremos de un eje puesto en rotación por el motor. El mecanismo es parecido al de la cadena de una bicicleta. Cuando un ciclista da una pedalada, la rueda dentada a la que están unidos los pedales mueve la cadena cerrada, que hace girar el piñón dentado sobre el eje de la rueda posterior, provocando la rotación de ésta. El eje de la escalera mecánica actúa como los pedales: hace girar las ruedas sobre las que están enrolladas las dos cadenas y, por lo tanto, también se ponen en movimiento las cadenas y los peldaños, unidos a las ruedas dentadas. Los pasamanos móviles, que se mueven como un anillo cerrado dentro de unas guías en forma de T colocadas a lo largo de la parte superior de los paneles laterales de la escalera mecánica, se deslizan a igual velocidad que los escalones, debido a la acción de otras ruedas motrices.

El motor, de corriente alterna, que trabaja por inducción (es decir, un motor en el cual se hace girar un rotor induciendo un campo magnético rotante) y que gira aproximadamente a la velocidad de 1.000 rpm, accionando las cadenas por medio de engranajes, está equipado de una serie de interruptores de seguridad que detendrán la máquina en caso de sobrecarga, rotura de una cadena y obstrucciones en los escalones o en el pasamanos. El freno, mantenido abierto por un electroimán




Las primeras escaleras mecánicas se remontan a la década de 1890; era un invento destinado a obtener un verdadero éxito en el siglo XX. La vida cada vez más frenética, la necesidad de desplazamientos rápidos y la creciente población urbana impusieron este sistema que agiliza el tráfico de escaleras y ascensores en los lugares públicos de gran tránsito, como estaciones ferroviarias y metropolitanas, aeropuertos y grandes almacenes. A la izquierda, el esquema de funcionamiento de una escalera mecánica.

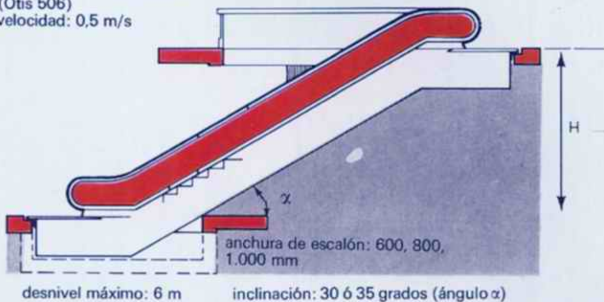


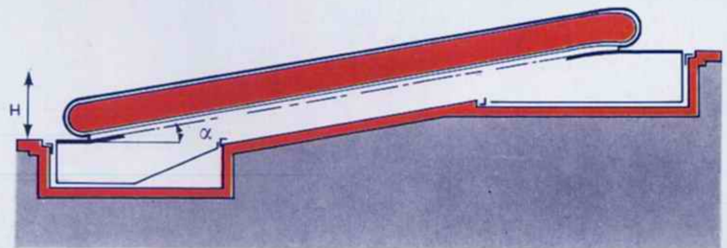
de corriente continua, entra en acción cuando los rectificadores no suministran corriente eléctrica al electroimán, como en el caso de una caída de potencia.

Para reducir el desgaste y el consumo de energía, algunas escaleras mecánicas están equipadas con dispositivos de regulación de velocidad que reducen ésta a la mitad cuando no hay pasajeros que las utilicen; en tal caso se sitúan sensores fotoeléctricos en los extremos para devolverles su velocidad normal cuando accede un pasajero, y reducirla nuevamente una vez que han salido de ella todos los pasajeros.

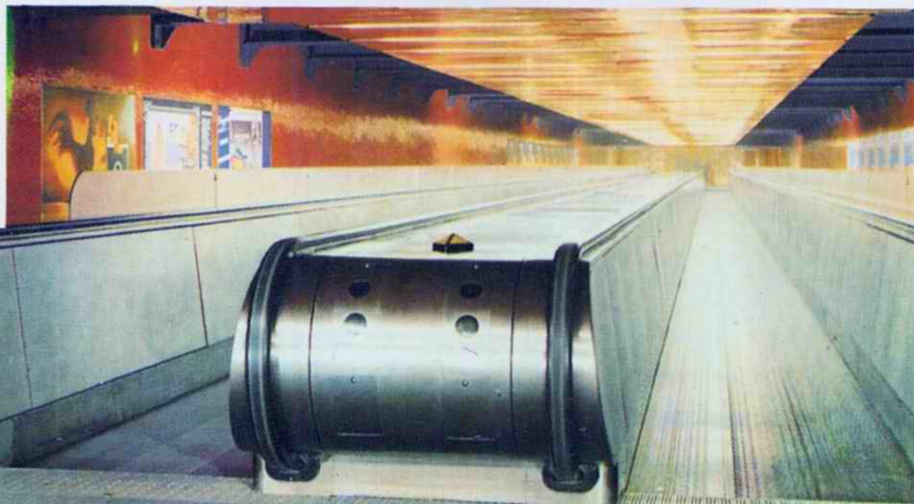
Véase **Ascensor; Motor eléctrico**






En la foto superior de esta página observamos la estructura abierta de una escalera mecánica del Centro Georges Pompidou, en París. A su derecha, la entrada de una estación de metro.



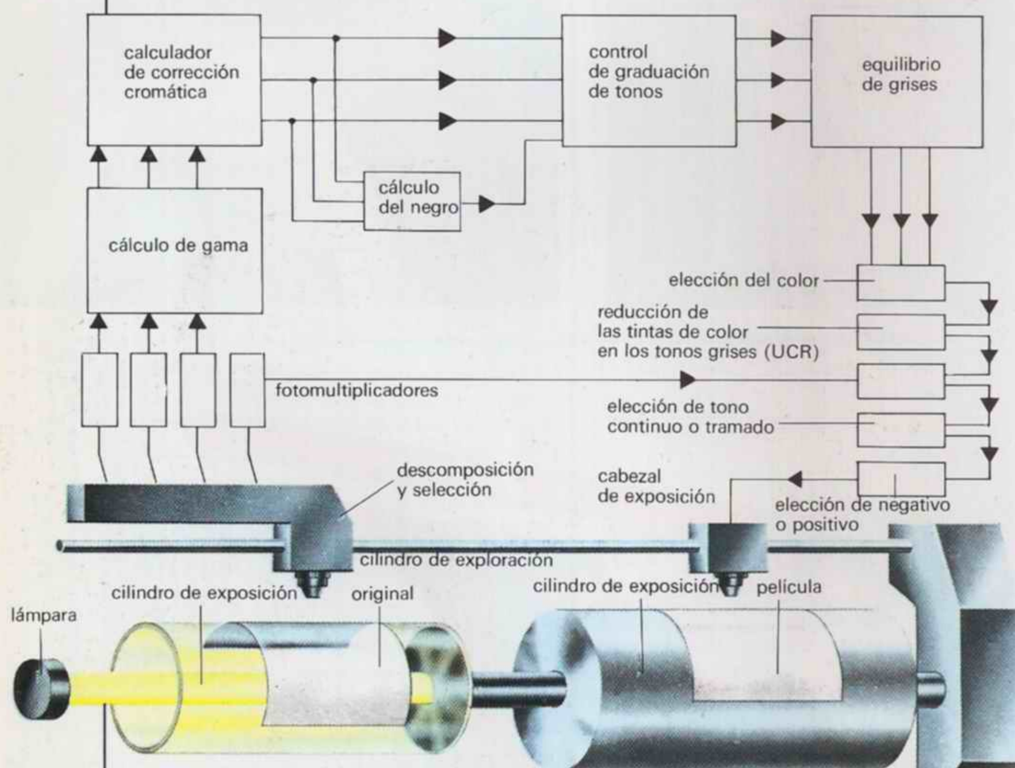
A la izquierda vemos una acera mecánica. Los problemas específicos que esta estructura conlleva son la relación entre carga, velocidad y dimensiones. Arriba, comparación de los dos mecanismos.

# Escáner

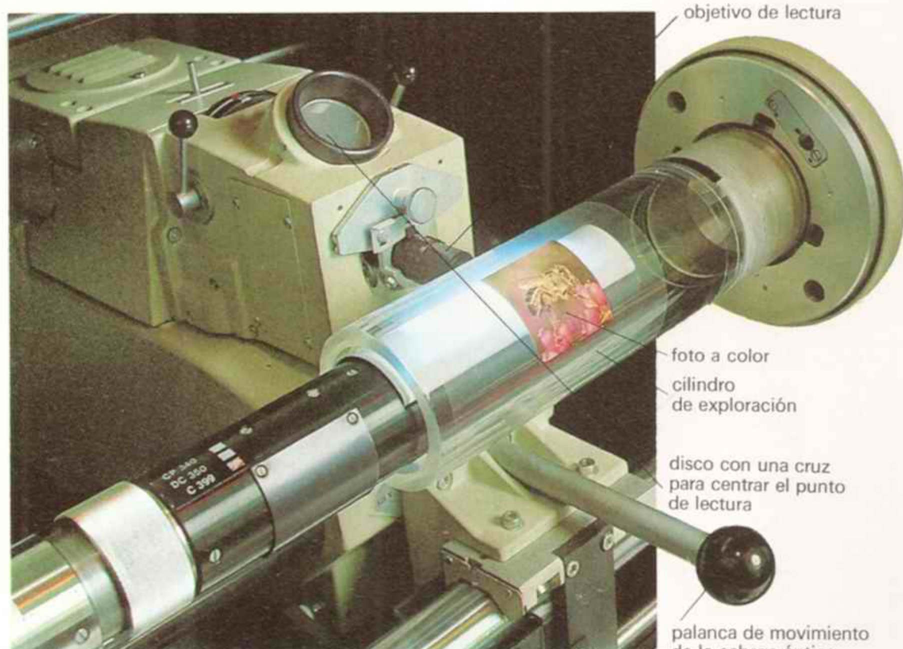
La reproducción de los colores en imprenta se basa en la utilización de tres moldes de impresión correspondientes a los colores primarios de las tintas: cian, magenta y amarillo, y también, un cuarto molde correspondiente al negro. Los moldes se obtienen utilizando reproducciones en películas, llamadas *de selección*, obtenidas a partir del original polícromo. La selección se puede realizar a mano (para motivos dibujados, *comics*, escritos, etc.) o bien fotomecánicamente, con aparatos como cámaras de reproducción, ampliadoras o escáner.

El *escáner* es un aparato capaz de reproducir originales polícromos y proporcionar negativos o positivos de selección acabados, con la necesaria corrección del color y la adecuada gradación de tonos. Las reproducciones obtenidas pueden ser de tono continuo o tramadas, con imágenes del derecho o del revés y de tamaño igual al original, reducidas o aumentadas. La palabra *escáner* procede del verbo inglés *to scan*, que significa "examinar" o, en este caso particular, "analizar por barrido". Por *barrido* se entiende la sucesión de líneas paralelas que se sigue para explorar el original y para recorrer después la película sensible, que se convertirá posteriormente en negativo o positivo de selección. El escáner actual es el resultado de la continua evolución de un aparato realizado hacia 1938 en Estados Unidos, que han llevado posteriormente a cabo varias casas europeas y japonesas. Desde los primeros escáner, que exploraban el original sobre un plano y funcionaban con válvulas electrónicas, se pasó a los que trabajaban sobre cilindros y funcionaban con circuitos impresos y transistores. A partir de éstos, aprovechando el altísimo nivel de la tecnología en el campo de la electrónica y los ordenadores, se ha llegado a construir aparatos capaces de dar selecciones de tono continuo y tramadas, con relaciones de reproducción desde 0,2 a 20 veces el formato del original, con la posibilidad de insertar fotografías de cualquier tipo y resolver las múltiples exigencias editoriales. La última generación de escáner reproduce simultáneamente las cuatro películas de selección en 10 minutos aproximadamente y obtiene imágenes tramadas directamente con un haz de láser, en vez de utilizar la trama gris convencional. Existen escáner conectados a sistemas de grabación electromecánica o con láser para la obtención de cilindros de huecograbado, y otros que, en vez de exponer directamente la película, memorizan los datos de toda una serie de selecciones, que se pueden visualizar sobre un terminal de vídeo en color para modificar y comprobar las variaciones cromáticas y para efectuar el montaje de las páginas.

Un escáner típico se puede describir en base a sus elementos fundamentales y después profundizar siguiendo las distintas fases de funcionamiento que llevan a la obtención de las reproducciones. La fotografía o el dibujo originales están enrollados sobre un cilindro transparente, de material plástico, llamado *de exploración* e iluminado con un haz de luz muy fino obtenido con una lámpara de xenón. Si el original es transparente, el haz atraviesa el cilindro, mientras que incide sobre el original cuando es opaco, de forma que su exploración se produce por reflexión. Sobre un segundo cilindro, llamado *de exposición* y normalmente más grande que el primero, se coloca la película sensible que recibirá la exposición y se convertirá en negativo o positivo de selección. La rotación veloz de los cilindros de exploración y de exposición y un lento movimiento lateral de los cilindros o de los cabezales de exploración y de exposición permiten la exploración del original y la consiguiente exposición de la película siguiendo una línea finísima en espiral. La sucesión de líneas, o barrido, se puede elegir en función de las características del original, el factor de ampliación, la lineatura de la trama o el resultado deseado, y puede ser de 200, 400, 600 u 800 líneas por centímetro. La velocidad lateral de barrido puede variar de 2,5 a 10 cm por minuto. La luz modulada por los claroscuros y colores del original se descompone en dos rayos distintos: uno servirá para la selección, mientras que el otro tendrá la misión de mejorar los detalles de la reproducción. El rayo de selección se descompone en los colores primarios con espejos dicroicos especiales. Estos espejos tienen la propiedad de ser reflectantes para determinadas longitudes de onda y transparentes para otras. Detrás de los espejos pueden existir también filtros de selección azul, rojo y verde para aumentar el grado de selección del cian, magenta y amarillo respectivamente. Los cuatro rayos de luz (tres de selección y uno para detalles) llegan a cuatro fotomultiplicadores que transforman la energía luminosa en corriente eléctrica, que se puede amplificar notablemente. Las tres señales de selección llegan a la primera unidad de control, la de contraste. El operador busca en el original la máxima luz y la máxima sombra, lo que crea interesantes efectos de reproducción, y regula los mandos para que estos dos valores se reproduzcan con las densidades o porcentajes de punto deseados. De esta forma se produce una reproducción exacta de todos los demás tonos intermedios del original. Las tres señales pasan al ordenador para su correción cromática, que se realiza automáticamente de acuerdo con un programa almacenado, que introdujo en el ordenador su fabricante. La corrección cromática es necesaria porque las tintas amarilla, magenta y cian utilizadas en imprenta tienen diferencias de tono respecto a




El original se coloca sobre el cilindro de exploración y se ilumina con la lámpara. La unidad de lectura y análisis lo explora, obteniendo valores cromáticos y densidades punto por punto y traduciéndolos en cuatro haces luminosos a través del grupo de descomposición. Los cuatro rayos llegan a cuatro fotomultiplicadores, que los transforman en señales eléctricas, procesadas después en las unidades de cálculo de contraste y de composición cromática. Unidades de proceso y corrección se ocupan de modular la señal y la envían a la unidad de exposición, que gira y se traslada sincronizada con la de exploración. Se ocupa de la exposición, punto a punto, de la película de reproducción fotomecánica, situada sobre su cilindro. En las sombras, los tres colores se atenúan y el negro aumenta (reducción de las tintas de color en los tonos grises, UCR).




como deberían ser idealmente. El magenta es demasiado rojo y es como si tuviera una cierta cantidad de tinta amarilla; el cian es demasiado azul y es como si estuviera mezclado con algo de tinta magenta; en cambio el amarillo es bastante correcto. Estos defectos en los colores primarios son especialmente perjudiciales cuando se mezclan dos tintas para obtener un color compuesto. La mezcla de dos primarios sin la oportuna corrección cromática (que consiste en disminuir la proporción del color excedente), llevaría a un color distinto del color deseado. Las señales de selección ya corregidas se utilizan para formar una cuarta señal, la correspondiente al negro. El negro se calcula dependiendo de las necesidades y normalmente se considera presente en la imagen sólo donde están superpuestos los tres colores primarios.

Véase **Color; Imprenta; Láser**

enganche cilíndrico de exploración
cilindro de exposición
lente de aumento para enfocar el original
cilindro de exploración
pantalla de exposición
pantalla de lectura del original
panel de comprobación y corrección cromática
tecla de encendido de la lámpara de exploración
tecla para aumentar un detalle del original

# Esclerosis múltiple

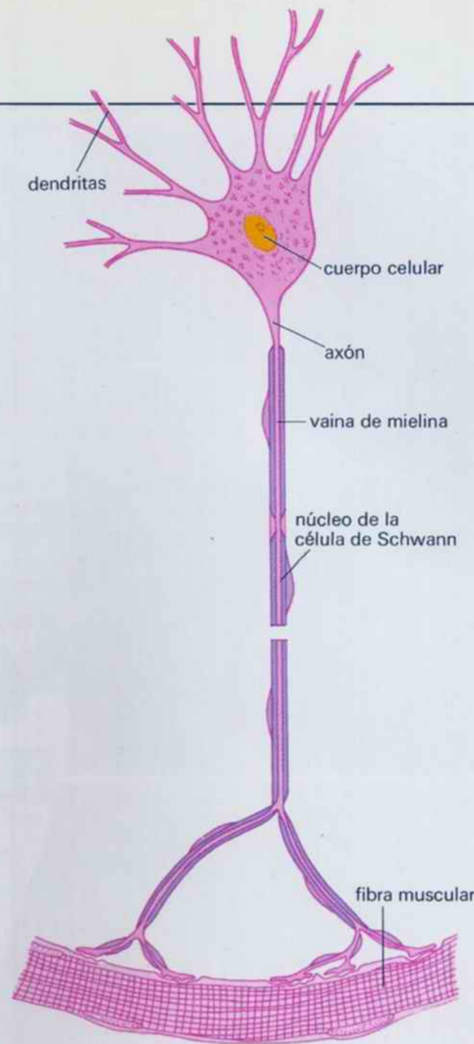
Los investigadores han encontrado tratamiento para muchas de las enfermedades en otro tiempo consideradas como incurables. Sin embargo, la esclerosis múltiple continúa siendo una de las pocas enfermedades graves para las que actualmente no existen ni tratamiento adecuado ni pruebas diagnósticas definitivas.

Las personas afectadas, de edades comprendidas por lo general entre los 20 y los 35 años, muestran los siguientes síntomas: desdoblamiento de la visión, dificultad para mantener el equilibrio, falta de coordinación, torpeza o parálisis de los miembros y de otras partes del cuerpo, temblores, dificultad para hablar, trastornos en los aparatos urinario y digestivo, y una sensación general de debilidad y fatiga. Estos síntomas, no obstante, no son típicos solamente de la esclerosis múltiple. Los tumores cerebrales y de la medula espinal, las enfermedades vasculares y otros trastornos neurológicos deben ser definitivamente descartados antes de poder llegar a un diagnóstico de esclerosis múltiple. Otra dificultad diagnóstica adicional consiste en el hecho de que los síntomas pueden disminuir o desaparecer en el curso de esta enfermedad, originando en el paciente períodos de remisión o de aparente buena salud.

**Conocimientos actuales de la esclerosis múltiple** La causa o las causas de la esclerosis múltiple permanecen aún desconocidas. Los síntomas están provocados por unas "placas" de tejido cicatricial muy consistente (*esclerosis* viene de una palabra griega que significa "endurecer"), distribuidas por todo el sistema nervioso central —el cerebro, la medula espinal, los nervios ópticos— y que interfieren en la transmisión de los impulsos nerviosos. Las fibras nerviosas sanas están revestidas por una capa de sustancia grasa, la vaina de mielina, la cual intensifica la conducción y la transferencia múltiple. En las primeras fases de la esclerosis múltiple, la vaina de mielina es destruida (proceso denominado *desmielinización)*, como resultado de lo cual los impulsos nerviosos están alterados o debilitados. A medida que avanza la enfermedad, las propias fibras nerviosas experimentan también destrucción, y no pueden transmitir los impulsos nerviosos. Se ha comprobado estadísticamente que la esclerosis múltiple es una enfermedad mucho más frecuente en las zonas de clima frío: por ejemplo, el número de casos en Winnipeg (Canadá) es seis veces superior al número de casos en Nueva Orleans (EE UU), mientras que en Italia es más frecuente en las regiones del norte que en las del sur. Por otro lado, es frecuente que la enfermedad afecte a personas de una misma familia, si bien esto podría ser debido a algunos factores ambientales comunes más que a un factor de tipo hereditario.

**La investigación actual** Los expertos mantienen que encontrar un tratamiento adecuado para la esclerosis múltiple de-

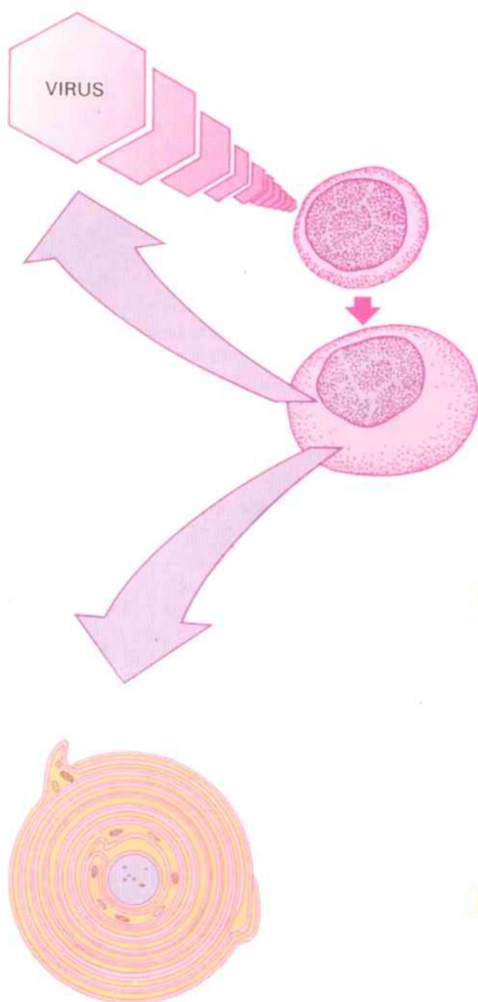
La esclerosis múltiple constituye un desafío para la ciencia médica: a pesar de ser una enfermedad ya conocida en el siglo pasado, continúa siendo aún hoy un enigma, dado que no ha sido posible determinar con exactitud cuál es la causa del trastorno. Desde el punto de vista anatomopatológico, la enfermedad se caracteriza por alteraciones conocidas como *placas de desmielinización*, ya que afectan a las vainas de mielina. A la derecha de estas líneas, representación esquemática de una célula nerviosa, concretamente una motoneurona; el axón, es decir, la prolongación más larga que sale del cuerpo celular, está revestido por una vaina de mielina, constituida por el arrollamiento repetido de unas células satélites especializadas, llamadas células de Schwann.

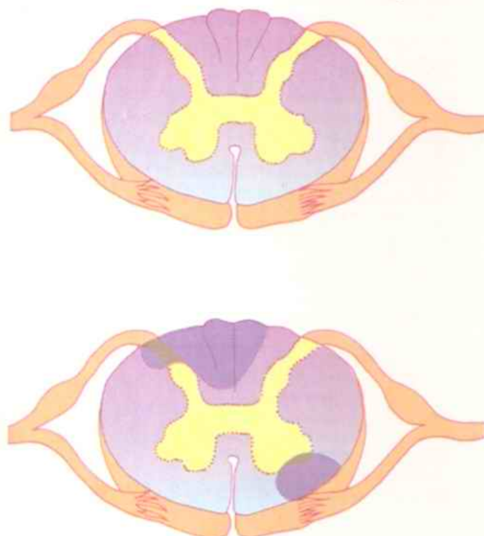


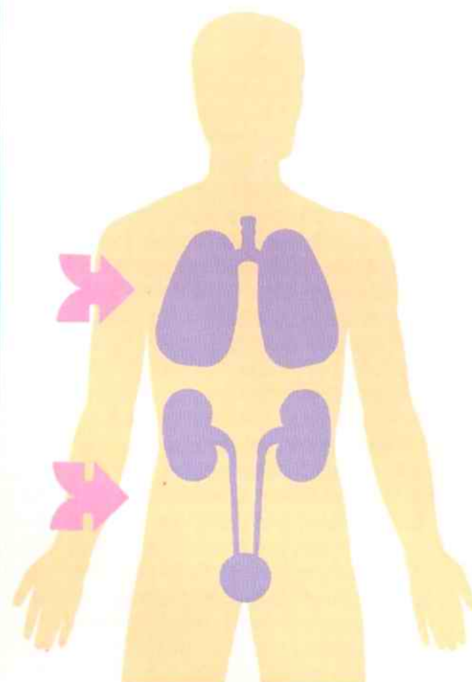

En la página siguiente: mecanismo de aparición de la esclerosis múltiple. Según la hipótesis más reciente, existiría una cierta afinidad entre algunos antígenos virales y determinados constituyentes de la mielina. Los linfocitos sensibilizados por el virus (y transformados, en consecuencia, en células plasmáticas) producirían anticuerpos que causarían efectos lesivos tanto en los virus infectantes como en algunos componentes de la mielina, comenzando la destrucción de la propia mielina. En la parte central, comparación entre una médula espinal íntegra (arriba) y una médula espinal afectada por la esclerosis múltiple (abajo). Aparecen manifiestas las zonas de desmielinización de la sustancia blanca.




Relaciones entre las fibras mielínicas y las amielínicas. A una distancia variable del cuerpo celular los axones se ponen en contacto con las células de Schwann. La secuencia de figuras (arriba, a la derecha) ilustra las relaciones existentes entre axones y células de Schwann. A, fibra amielínica; B, C, D, fibras con mayor o menor grado de mielinización. Sobre estas líneas, a la izquierda, esquema de una imagen al microscopio electrónico de una fibra mielínica: una célula de Schwann se arrolla repetidamente alrededor del axón.





La esclerosis múltiple presenta distintas complicaciones: entre las más frecuentes y graves de naturaleza no neurológica se encuentran las infecciones del aparato respiratorio y de las vías urinarias.

pende de la determinación de las causas de la desmielinización. Recientemente se han efectuado algunos descubrimientos importantes en los campos de la Inmunología (estudio de los mecanismos de defensa del organismo contra las infecciones) y de la Virología (estudio de los virus).

En 1978, un equipo de investigadores estadounidenses, dirigido por el doctor Barri G.W. Arnason, de la Universidad de Chicago, descubrió que una clase específica de linfocitos (un tipo de glóbulos blancos de la sangre, encargado de la defensa del organismo contra las infecciones) desaparece del torrente sanguíneo inmediatamente antes de un ataque y reaparece súbitamente después o durante la remisión. Los investigadores identificaron ese tipo de linfocitos como linfocitos T. En 1981, el equipo de Arnason anunció que los linfocitos T poseen antígenos de superficie indénticos a los que poseen los oligodendrocitos, células de forma característica presentes en el tejido nervioso. Esto es importante porque se piensa que el oligodendrocito es responsable (junto con otra célula denominada *célula de Schwann*) de la formación y conservación de la mielina que recubre las fibras nerviosas en el sistema nervioso central.

El equipo de Arnason planteó la hipótesis de que las variaciones de los niveles de linfocitos T en el plasma sanguíneo actuarían como un reflejo de las variaciones en el cerebro. En el mismo año, un descubrimiento fundamental proporcionó un notable apoyo a dicha hipótesis. Por vez primera se logró la observación de los linfocitos en el momento de abandonar el torrente sanguíneo y de penetrar en el líquido cefalorraquídeo, que se encuentra contenido entre las dos membranas en las que está encerrado el sistema nervioso central y con las que el citado líquido mantiene estrechas relaciones, por las que experimenta las mismas variaciones químicas que el cerebro.

Los investigadores no conocen aún exactamente cómo se verifica el proceso, pero mantienen que las variaciones en el número y movimiento de los linfocitos en las fases agudas de la esclerosis múltiple (cuando los síntomas son más graves) tienen una estrecha relación con el fenómeno de la desmielinización.

**Otros campos de investigación** Las autopsias llevadas a cabo en las víctimas de esta enfermedad han revelado una incidencia constantemente elevada del virus del *herpes simple* (que provoca la formación de típicas vesículas en la zona de los labios, comúnmente llamadas "calenturas") y del virus del sarampión, lo cual sugiere que estos virus tal vez desempeñen un cierto papel en la esclerosis múltiple. Otra teoría virológica —no tan fundada como la que existe con respecto al sarampión y al herpes— es que la esclerosis múltiple podría derivar del mismo virus que causa el moquillo de los perros. La hipótesis del moquillo se basa sobre todo en 24 casos de esclerosis múltiple que tuvieron lugar en las islas Feroe entre los años 1943 y 1960. De 1900 a 1943 no existieron casos y desde 1960 hasta hoy ha habido sólo uno.

Durante la II Guerra Mundial, los oficiales ingleses llevaron perros a las islas Feroe, que antes poseían una población canina muy limitada. La vacunación de los perros importados —medida todavía más aconsejable en situación de guerra— parece ser que fue muy desatendida y en la constatación de este hecho se basa la hipótesis de la posible correlación entre los propietarios de perros y las personas afectas de esclerosis múltiple en las islas Feroe en aquel período.

**Vivir con esclerosis múltiple** Durante la enfermedad, alternan los períodos de ataque con los períodos de remisión: durante la remisión, el paciente vive normalmente, presentando sólo una ligera minusvalía; pero la enfermedad se agrava con el transcurso del tiempo. El nivel de minusvalía provocado por la esclerosis múltiple varía de un paciente a otro. Efectivamente, un reciente estudio demuestra que se reduce la duración de la vida solamente en un 15% aproximadamente, y que muchas víctimas de la enfermedad mueren realmente por otras causas distintas. Como promedio, el enfermo vive unos 25 años desde el diagnóstico de la enfermedad, y por lo general es capaz de proseguir su actividad laboral, tener una familia y llevar una vida moderadamente activa.

Véase **Inmunidad; Nervioso, sistema; Virus**

# Esmaltado

El esmaltado consiste en fundir una delgada capa de vidrio sobre una superficie metálica. Es un revestimiento decorativo y al mismo tiempo desempeña un papel protector capaz de imitar el brillo, el color y la durabilidad de las piedras preciosas. Se aplica sobre todo en metales (oro, plata, cobre y bronce), pero también puede ser utilizado sobre vidrio y cerámica. Entre los objetos esmaltados más comunes están los aparatos domésticos (lavadoras, frigoríficos, baños, cacerolas, etc.), las joyas, los marcos de los relojes y los paneles decorativos. El trabajo del esmaltador es una tarea difícil que requiere habilidad artística y al mismo tiempo una sofisticada técnica.

**Composición y fabricación de la *"frita"*** Entre los materiales que intervienen en el esmaltado se puede efectuar la siguiente división: *refractarios,* como la sílice, el feldespato, los óxidos de aluminio; *fundentes,* como el bórax, la sosa, la criolita, el espato de flúor; *opatizantes,* como el óxido de antimonio, el titanio y el circonio; y *colorantes.*

Los minerales refractarios forman la base del vidrio, los fundentes tienden a rebajar el punto de fusión, los opatizantes confieren al esmalte su opacidad, y los colorantes le dan color.

Así pues, la fabricación del esmalte se inicia con la medida precisa del peso de las materias primas, oportunamente seleccionadas, en las proporciones indicadas en la "fórmula" o "receta." Después los distintos componentes se mezclan íntimamente y la mezcla así obtenida se funde en un horno adecuado, a temperaturas superiores a los 1.000 °C, hasta obtener una masa homogénea.

La masa fundida se saca del horno y se reduce a fragmentos diminutos mediante granulación en agua o laminación en corriente de aire con sucesiva fragmentación.

Al producto así obtenido se le llama *frita,* y, según el sistema empleado para su obtención, se habla de *frita en grano* (granulación en agua) o *frita en escamas* (laminación en aire).

La frita con las eventuales adiciones, antes de ser aplicada, es molida finamente en un molino de bolas hasta que se forman partículas de tamaño muy pequeño. Para esmaltar chapas de acero, la frita se muele con arcilla, ciertos electrólitos y agua, a fin de conseguir una suspensión estable, o *lechada.* La mayoría de los esmaltes se hacen por vía húmeda, aplicando una espesa lechada de frita por proyección o por inmersión, seguida de escurrido. Después del secado, el objeto a esmaltar se introduce con el esmalte en los hornos de cocción, donde, en función de las características del metal base, se somete a temperaturas de 800 a 900 °C.

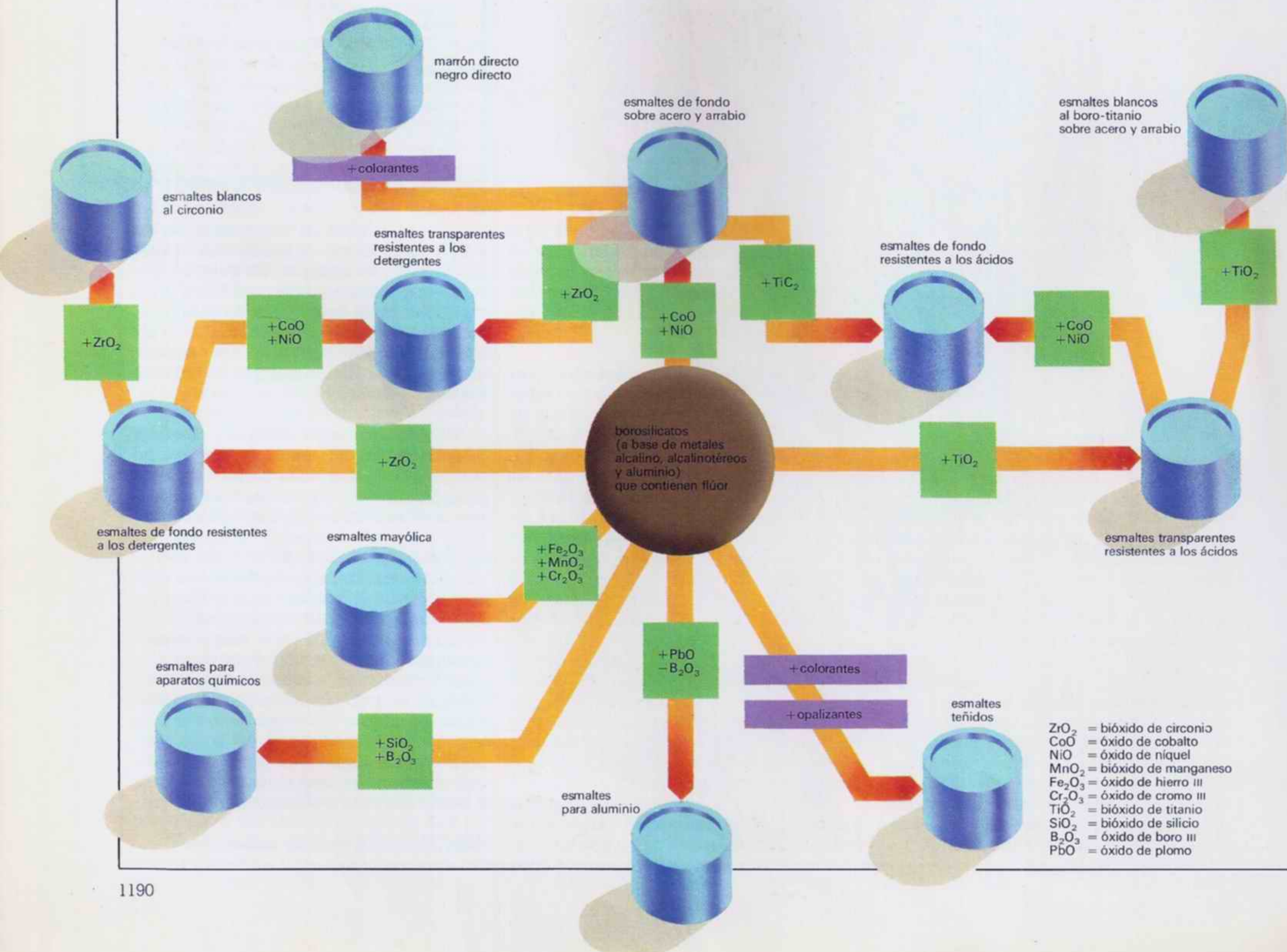
Al calentarlo, el esmalte se funde y se extiende debido a su tensión superficial.

**Preparación del metal base** El metal sobre el que será aplicado el esmalte debe tener una composición química y unas características bien determinadas y ha de ser adecuadamente "preparado" antes de la aplicación del esmalte.

Dicha "preparación" o "pretratamiento", que tiene esencialmente la misión de pulir la superficie metálica y de hacerla apta para recibir el esmalte, varía en función de la naturaleza del propio metal.

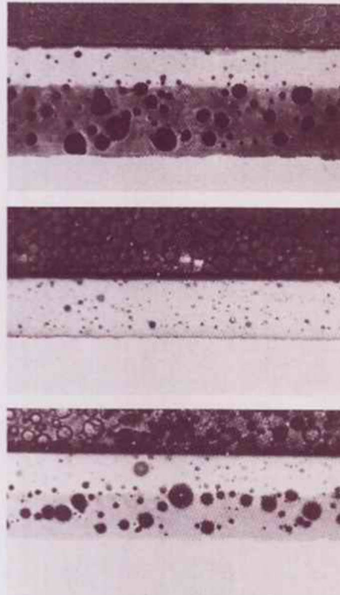
A veces, el metal es pulido mecánicamente proyectando sobre la superficie abrasivos en grano, como por ejemplo granalla de acero o de fundición; la operación se efectúa con una máquina enarenadora de turbina o de aire comprimido.

En el caso del acero, la preparación de la superficie se lleva a cabo químicamen-






Para obtener un esmaltado perfecto, es preciso conseguir una estructura en burbujas, que tiene la propiedad de oponer resistencia a la presión de los gases que se forman en la interfase. Los factores que producen esa estructura son: el desarrollo de gases procedentes de la arcilla o de otros aditivos, el desprendimiento de gases de la frita, y el agua que se libera por la reacción de grupos oxidrílicos con el hierro. El decapado está en estrecha relación con los gases que se liberan en el proceso de esmaltado, con las características de la superficie de la plancha, con la estructura metalográfica y con la reactividad.

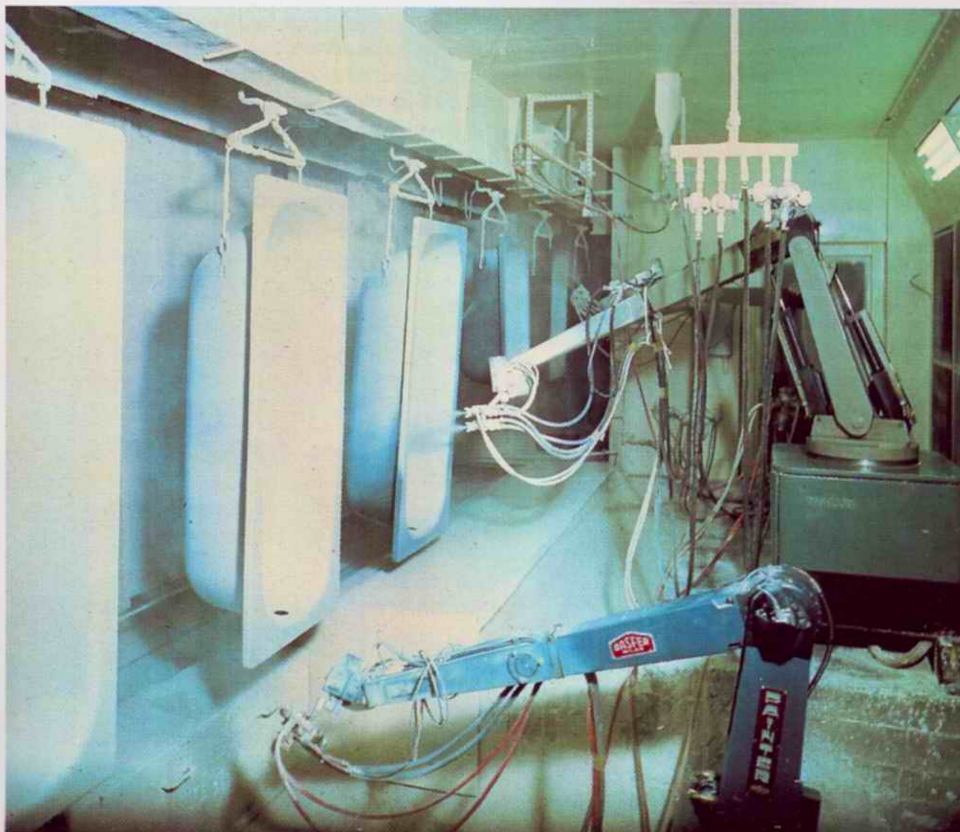


te, mediante el *decapado*. La superficie debe ser, sobre todo, desengrasada, a fin de liberarla de toda traza de grasa, etc.; a continuación es atacada con soluciones ácidas para eliminar el óxido que pueda existir y dejarla ligeramente áspera, lo que favorece la adhesión del esmalte. La operación se completa con la neutralización y el secado de la superficie.

También para el aluminio y el acero inoxidable la preparación de la superficie a esmaltar es química, mediante procesos de decapado especiales.

**Campos de aplicación del esmalte** El esmalte tiene una importante aplicación en todos aquellos sectores industriales en los que es necesaria una alta resistencia al calor, a los agentes químicos y atmosféricos y a las tensiones mecánicas, concretamente: en la industria de los electrodomésticos (cocinas, hornos, estufas de gas, eléctricas y las que funcionan con otras fuentes de energía); industria de los aparatos higiénico-sanitarios (bañeras, duchas, lavabos, calentadores de baños y calentadores de agua eléctricos y de gas); industria de vajillas; construcción y urbanismo (paneles de revestimiento y aislamiento para exteriores e interiores, señales de carretera, matrículas de coche y señales); industria automovilística (tubos de escape para coches, autocares, camiones y tractores).

Véase **Cerámica; Vidrio**




Merloni Igienici Sanitari

La composición química del vidrio varía con la función que debe desempeñar, pero es importante que los coeficientes de dilatación, al calentar, o de contracción, al enfriar, sean compatibles con los del metal de base del esmalte. En las tres microfotografías, se observa, empezando desde arriba: estructura tradicional en burbujas, estructura en burbujas en el esmalte directo y *liberty-coat* aplicado en húmedo sobre acero no decapado. A la izquierda, bañeras esmaltadas por aspersión.

# Espacio euclídeo



Justo Barboza

Euclides de Alejandría (llamado así a pesar de ignorarse su lugar de nacimiento) es un gran desconocido. Apenas se sabe más que vivió, aproximadamente, entre los años 365 y 275 a. de C. y escribió sus *Elementos* hacia los 330-320 a. de C. Tal obra es la primera de matemática *moderna* que se conoce y marca la frontera entre un saber geométrico empírico y otro lógico-deductivo. Suelen atribuirse otras obras a Euclides; por ejemplo *Datos, Fenómenos, Optica*, etc., sobre diferentes cuestiones científicas.

El calificativo de *euclídeo* (o *euclidiano*) aplicado al substantivo *espacio* puede ser utilizado en múltiples sentidos. De un modo sintético y esquemático cabe incluir éstos en alguna de las tres acepciones descritas a continuación.

a) En primer lugar *espacio euclídeo* o *espacio euclídeo ordinario* se usan en diferentes contextos —filosóficos, científicos y en el propio lenguaje común— para referirse, con más o menos rigor y precisión, al espacio de nuestra experiencia sensible *educada* por la geometría elemental.

b) Por otra parte, puede designar una construcción intelectual: la del *espacio geométrico* examinado en los *Elementos* de Euclides (escritos hacia los años 330 a 320 a. de C.). El *espacio* de la geometría euclídea ha sido, con diferentes interpolaciones, comentarios, etc., estudiado por muchas generaciones, durante más de dos mil años, no sólo como sistema matemático sino también como modelo indiscutible y, hasta el siglo XIX, indiscutido del espacio físico.

c) Por último, *espacio euclídeo* en la matemática actual puede tener un significado estrictamente *técnico*; se trata entonces de un tipo especial de espacios vectoriales (y de sus espacios puntuales asociados) a los que se ha dado una cierta estructura topológica mediante un determinado artificio argebraico.

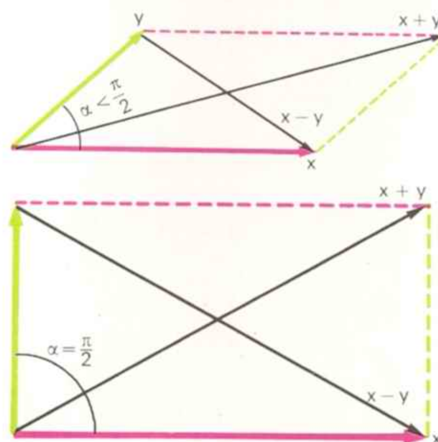
La confusión conceptual, o poco menos, que durante siglos ha existido entre el espacio y su modelo euclídeo sólo ha sido despejada en tiempos recientes, cuando ha quedado claramente establecido que el *espacio físico*, del que tenemos una percepción condicionada por múltiples circunstancias (fisiológicas, psicológicas, culturales, etc.), es una cosa y los *espacios de la geometría* —o mejor: *geometrías*— otra. Precisamente construcciones intelectuales que, por un lado, tratan de modelizar aquel y, por otro, son sistemas lógico-formales constituidos por una colección de axiomas y los teoremas deducidos de los mismos. El *espacio euclídeo* es, en este sentido y desde el punto visto histórico, el primero de ellos.

La evidencia empírica muestra que, si se considera nuestro entorno ordinario (exceptuando el de la microfísica y el de las grandes extensiones astronómicas), la geometría euclídea proporciona una buena aproximación a la realidad que somos capaces de percibir. Por el contrario, cuando se abordan problemas más complejos puede ser necesario utilizar otras geometrías.

Según parece Euclides no fue autor de casi ninguno de los resultados de sus *Elementos*; sin embargo, fue el genial sistematizador de la geometría de su tiempo y, lo que es más importante, el primer matemático en formular un sistema completo de forma axiomática (con alguna imperfección para el gusto actual, como es lógico). Euclides construyó la geometría como una ciencia deductiva y tomó como punto de partida una lista de *axiomas* (verdades evidentes de tipo genérico) y *postulados* (enunciados geométricos que se admitían sin demostración), lo que en terminología actual serían los *axiomas* de la teoría. Entre los postulados de Euclides los cuatro primeros no se prestan a discusiones; en términos simples afirman que: "por dos puntos puede trazarse una recta" (I); que "a partir de un segmento puede prolongarse indefinidamente una recta" (II); que "dados dos puntos existe una circunferencia con centro uno de ellos y pasando por el otro" (III); y que "todos los ángulos rectos son iguales" (IV). El V postulado no parece tan simple y durante siglos ha sido objeto de controversia; se trata del *postulado del paralelismo* que, en forma distinta a la euclídea pero equivalente, viene a decir que "por un punto exterior a una recta se puede trazar una paralela y sólo una".

Durante dos mil años se trató de demostrar el V postulado sin éxito hasta que en el siglo pasado diferentes matemáticos (Gauss, Bolyai, Lobachevsky y Riemann) entendieron que ello no era posible y que, por el contrario, se podían construir geometrías no euclídeas negándole, tan válidas, desde un punto de vista logicomatemático, como la de Euclides que lo admite y tan útiles como ésta para interpretar ciertos aspectos de lo real. Quedó claro así que la geometría es una ciencia formal que, como escribió Einstein en una ocasión, "en cuanto se refiere a la realidad no es segura y en cuanto es segura no se refiere a la realidad".

Si en un espacio *euclídeo* dos vectores no son *ortogonales*, se tiene que $\|\mathbf{x} \pm \mathbf{y}\|^2 = \|\mathbf{x}\|^2 + \|\mathbf{y}\|^2 \pm 2(\mathbf{x}, \mathbf{y})$; cuando son *ortogonales* $(x, y) = 0$ y se cumple que $\|\mathbf{x} \pm \mathbf{y}\|^2 = \|\mathbf{x}\|^2 + \|\mathbf{y}\|^2$, que es la versión abstracta del viejo teorema de Pitágoras.




**Espacios vectoriales euclídeos** En cuanto a la acepción *técnica* actual del término *espacio euclídeo* existe, también, una relación íntima con las anteriores. Se refiere a una estructura matemática que, utilizando técnicas algebraicas, modeliza espacios abstractos que tienen propiedades geométricas *euclídeas* (es decir análogas a las del espacio de la geometría euclídea tridimensional). Si E es un *espacio vectorial* sobre $\mathbb{R}$ de dimensión finita *n* —por ejemplo $\mathbb{R}^n$ o uno de sus isomorfos— cabe definir en él un *producto escalar* que le dé estructura de espacio euclídeo del siguiente modo: a cada par de vectores $\mathbf{x}$ e $\mathbf{y}$ de E se le atribuye un elemento de $\mathbb{R}$, denotado como $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ o $\mathbf{x}.\mathbf{y}$ y tal que

$$(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = (\mathbf{y}, \mathbf{x})$$
$$(\alpha\mathbf{x} + \beta\mathbf{x}', \mathbf{y}) = \alpha(\mathbf{x}, \mathbf{y}) + \beta(\mathbf{x}', \mathbf{y})$$

para cualesquiera $\mathbf{x}, \mathbf{x}', \mathbf{y} \in E$ y $\alpha, \beta \in \mathbb{R}$; y además si $\mathbf{x} \in E$ se cumple

$$(\mathbf{x}, \mathbf{x}) > 0 \quad \text{si} \quad \mathbf{x} \neq 0$$
$$(\mathbf{x}, \mathbf{x}) = 0 \quad \text{si} \quad \mathbf{x} = 0$$

El ejemplo más sencillo de espacio vectorial euclídeo es el de los vectores de la geometría y la mecánica elementales, o su isomorfo $\mathbb{R}^3$, en el que se define como producto escalar de dos vectores el número que resulta de multiplicar sus módulos entre sí y por el coseno del ángulo que forman o, si se usan sus componentes cartesianas $(x_1, x_2, x_3)$ e $(y_1, y_2, y_3)$, por el producto $x_1y_1 + x_2y_2 + x_3y_3$.

En el caso, apuntado antes, de $\mathbb{R}^n$ el producto escalar más inmediato y sencillo es la generalización del anterior.

$$(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum_{n=1}^{n} x_i y_i$$

Sin embargo caben otras más generales; por ejemplo

$$(\mathbf{x}, \mathbf{y})_G = \sum_{i,j=1}^{n} g_{ij} x_i y_j$$

con $[g_{ij}]$ la matriz de una *forma* simétrica y definida positiva (es decir tal que $g_{ji} = g_{ij}$ y que para todo vector $\sum g_{ij}x_ix_j \geqslant 0$, anulándose sólo cuando todas las $x_i$ son nulas).

Naturalmente si se tiene un espacio puntual afín tal que el espacio vectorial asociado es euclídeo aquel se denomina también euclídeo.

Una de las propiedades inmediatas de los espacios euclídeos es que existe para ellos la *norma* (o *módulo* en terminología más antigua) de un vector $\|\mathbf{x}\| = \sqrt{(\mathbf{x},\ \mathbf{x})}$ que, por ejemplo, en el caso $\mathbb{R}^3$ se reduce a la longitud del segmento representativo del vector **x**. Análogamente, tanto los espacios vectoriales como los puntuales euclídeos son espacios métricos porque $\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\| = \sqrt{(\mathbf{x}-\mathbf{y},\ \mathbf{x}-\mathbf{y})}$ tiene todas las propiedades de una distancia. Precisamente el espacio euclídeo canónico es $\mathbb{R}^n$ con el producto escalar $(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) = \sum x_iy_i$, la norma $\|\mathbf{x}\| = \sqrt{\sum {x_i}^2}$ y la distancia

$$d(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) = \sqrt{\sum (x_i - y_i)^2}.$$

En los espacios vectoriales euclídeos se cumple la llamada desigualdad de Cauchy (o de Schwarz o, también, de Buniakovsky) que asegura que para cualquier par de vectores **x** e **y** se tiene

$$\|(\mathbf{x},\ \mathbf{y})\| \leqslant \|\mathbf{x}\|\ \|\mathbf{y}\|$$

En los espacios euclídeos se llaman *ortogonales* dos vectores **x** e **y** cuando

$$(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) = 0.$$

Si **x** e **y** son *ortogonales* entonces:

$$\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|^2 = (\mathbf{x}-\mathbf{y},\ \mathbf{x}-\mathbf{y}) = \|\mathbf{x}\|^2 + \|\mathbf{y}\|^2$$
$$\|\mathbf{x}+\mathbf{y}\|^2 = (\mathbf{x}+\mathbf{y},\ \mathbf{x}+\mathbf{y}) = \|\mathbf{x}\|^2 + \|\mathbf{y}\|^2$$

expresiones que no son otra cosa que la prueba del teorema de Pitágoras generalizado para un espacio euclídeo cualquiera.

Cuando la expresión del producto escalar tiene la forma $(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) = \sum x_iy_i$ ello resulta equivalente a admitir que los vectores de la base son *ortogonales*, es decir de norma unidad y ortogonales dos a dos, mientras que cuando se da una expresión del tipo $\sum g_{ij}x_iy_j$ equivale a que, si $(\mathbf{e}_i)$ son los vectores de la base, sean los $g_{ij}$ los productos escalares $g_{ij} = (\mathbf{e}_i,\ \mathbf{e}_j)$. Esta consideración permite definir dos tipos de componentes o coordenadas para los vectores de un espacio euclídeo: las ordinarias o *contravariantes*, es decir los números que multiplicados por los elementos de la base y sumados dan el vector, y otras nuevas, llamadas *covariantes*, que son los productos escalares del vector por los vectores de la base; cuando se hace tal distinción (que sólo tiene sentido si los vectores de la base no son ortonormales) se suele designar a las componentes contravariantes con superíndices $(x^i)$ y a las covariantes con subíndices $(x_i)$.

El concepto de espacio vectorial euclídeo puede extenderse en múltiples direcciones. Por ejemplo sustituyendo la propiedad de que la forma que da el producto escalar sea definida positiva por la de que no sea degenerada (es decir que sólo se anule si alguno de los vectores es nulo).

El producto *escalar* de dos vectores libres del plano o del espacio se define como el número que resulta de multiplicar los dos módulos o normas entre sí y por el coseno del ángulo que forman. Por ejemplo, en la figura superior se tiene que:

$(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) = \|\mathbf{x}\| \cdot \|\mathbf{y}\| \cos \alpha.$

Pero, por otra parte, aplicando sencillas propiedades trigonométricas, puede ponerse que:

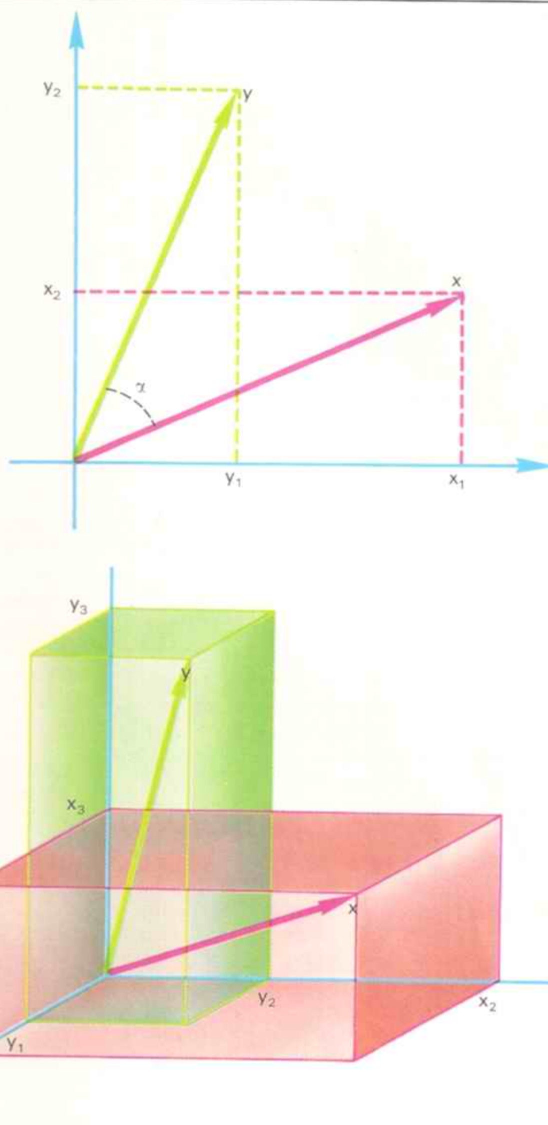
$\cos \alpha = \cos (Y - X) =$
$= \cos Y \cos X +$
$+ \operatorname{sen} Y \operatorname{sen} X$

siendo Y y X los ángulos que forman, respectivamente, los vectores **y** y **x** con el eje de abscisas. Entonces, sustituyendo, se verifica inmediatamente que:

$(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) = \|\mathbf{x}\| \cos X\ \|\mathbf{y}\| \cos Y +$
$+ \|\mathbf{x}\| \operatorname{sen} X\ \|\mathbf{y}\| \operatorname{sen} Y =$
$= x_1y_1 + x_2y_2$

Análogamente, con un poco más de cálculo, podría probarse en el caso tridimensional que:

$(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) = x_1y_1 + x_2y_2 + x_3y_3$




Se conservan entonces múltiples propiedades, pero no todas; por ejemplo la esencial de que el producto escalar de un vector por sí mismo sea positivo (y que su raíz cuadrada sea real y tenga las propiedades de norma o módulo). A tales espacios se les suele llamar *pseudoeuclídeos* (aunque haya algunos autores que prefieren denominarles simplemente *euclídeos*, reservando el nombre de *propiamente euclídeos* a los que tienen producto escalar definido positivo).

Otra extensión posible es admitir que los vectores tengan componentes complejas (sería el caso del espacio $\mathbb{C}^n$ sobre $\mathbb{C}$, en vez de $\mathbb{R}^n$, por ejemplo). Si se mantiene un producto escalar bilineal, como se ha hecho en el caso real, se tiene lo que se suele llamar *espacios euclídeos complejos*. Se presenta en tal caso, el mismo inconveniente señalado antes —el producto de un vector por sí mismo es un complejo y su raíz cuadrada no es un real con propiedades de norma— y, por ello, en múltiples aplicaciones se opta por definir un producto *hermítico*, que se sesquilineal, es decir lineal en la primera variable y antilineal en la segunda:

$$(\alpha\mathbf{x} + \beta\mathbf{x}',\ \mathbf{y}) = \alpha(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) + \beta(\mathbf{x}',\ \mathbf{y})$$
$$(\mathbf{x},\ \alpha\mathbf{y} + \beta\mathbf{y}') = \overline{\alpha}(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) + \overline{\beta}(\mathbf{x},\ \mathbf{y}')$$

El ejemplo más inmediato de tal producto es, para el caso de $\mathbb{C}^n$, el producto

$$(\mathbf{x},\ \mathbf{y}) = \sum x_i\overline{y_i}$$

($\overline{\alpha}$ o $\overline{y}_i$ indican los complejos conjugados de $\alpha$ o $y_i$ respectivamente). Cuando el espacio E es el de los vectores, reales o complejos, de dimensión infinita pero cumpliendo sus componentes que $\sum |x_i|^2 < \infty$, y se le da una estructura euclídea o hermítica se tiene el llamado espacio de Hilbert (usual en múltiples problemas de Física Matemática y fundamental en Mecánica Cuántica).

Otra extensión posible es la de considerar variedades puntuales que localmente coinciden con un espacio euclídeo. Tal es el caso de los espacios de Riemann (de utilidad por ejemplo, en la teoría de la Relatividad).

Véase **Espacio matemático; Espacios métricos y topológicos; Espacios vectoriales y afines; Formas cuadráticas, cónicas y cuádricas; Geometría analítica; Geometrías; Matrices; Método axiomático**

# Espacio matemático

En muchos diccionarios se define aún la Matemática como la "ciencia del número y el espacio" y se la divide, consecuentemente, en Aritmética y Geométrica. Entre los numerosos inconvenientes de dicha definición destacan el de ignorar los grandes desarrollos científicos de los últimos siglos, que han dado origen a muchos nuevos temas matemáticos (conjuntos, funciones, relaciones, etc.), y el de basarse en exclusiva sobre el objeto de estudio sin considerar el método. Sin embargo, sigue siendo cierto que la del *espacio* es una de las cuestiones centrales de la Matemática (y, cabría añadir, que de gran parte de la Ciencia y la Filosofía de todos los tiempos). El problema consiste en aclarar de que *espacio* se trata.

La *geometría* del hombre primitivo e, incluso, del de las grandes civilizaciones antiguas, era una ciencia empírica; aquel conocía propiedades particulares de figuras sencillas o realizaba cálculos aproximados sobre las mismas, a veces bastante aceptables, pero su visión *geométrica* del espacio coincidía, lisa y llanamente, con su percepción del mismo y su saber sobre aquella era un conocimiento empírico sobre éste. En Grecia, por el contrario, las cosas empiezan a ser distintas. Los grandes geómetras griegos —Thales de Mileto, Pitágoras y su escuela, Euclides, Arquímedes, etc.— no sólo recogen y amplían enormemente los conocimientos de la Antigüedad sino que cambian el rumbo de la historia de la geometría (y de toda la Matemática). Esta deja de ser un saber acerca de figuras del espacio real para serlo de figuras abstractas; es lo que se ha llamado el "milagro griego". Euclides, más en concreto, destaca en esta labor; en sus *Elementos* (escritos entre los años 330 y 320 a. de C.) establece lo que hoy consideraríamos un sistema axiomático para definir un *espacio matemático* —el actualmente denominado *euclídeo ordinario*— que es una pura creación intelectual.

Como se puede abstraer de muestra experiencia (si es que no se trata de un conocimiento *a priori* según pensaban grandes filósofos como Kant) el concepto abstracto o matemático de espacio o como las lucubraciones lógico-formales hechas con él son luego aplicables al espacio real son cuestiones interesantes y complejas, pero que se salen del propio marco matemático para inscribirse en el filosófico o en el de la ciencia positiva. Por otra parte la investigación de que modelo de *espacio* abstracto es más adecuado para representar las propiedades del espacio real se confunde prácticamente con el del estudio de éste y es uno de los grandes temas de la física.

El único *espacio* matemático estudiado durante dos mil años ha sido el *euclídeo*, que se ha considerado como el modelo *natural* del espacio físico. Los desarrollos internos de la matemática (geometría analítica y diferencial, geometría proyectiva, etc.) y el progresivo esclarecimiento de sus propios métodos y significados llevaron a lo largo del siglo pasado a establecer geometrías distintas de la de Euclides y, durante el presente, a probar, incluso, que en algunos casos podían ser útiles para representar realidades físicas.

Pero la cosa no ha parado ahí. La Matemática actual considera espacios que ya ni siquiera tienen la pretensión de ser abstracción, desde el punto de vista psicológico, o modelo, desde el epistemológico, del espacio real sino que son abstractos en un sentido más profundo.

**Espacios abstractos** Un *espacio abstracto* es una estructura matemática que tiene los siguientes componentes:

1) Un conjunto no vacio a cuyos elementos se les da el nombre de *puntos*, *vectores* u otros, según los casos.

2) Una serie de relaciones, operaciones y funciones definidas en él que *permiten* un lenguaje o una interpretación *geométricos*.

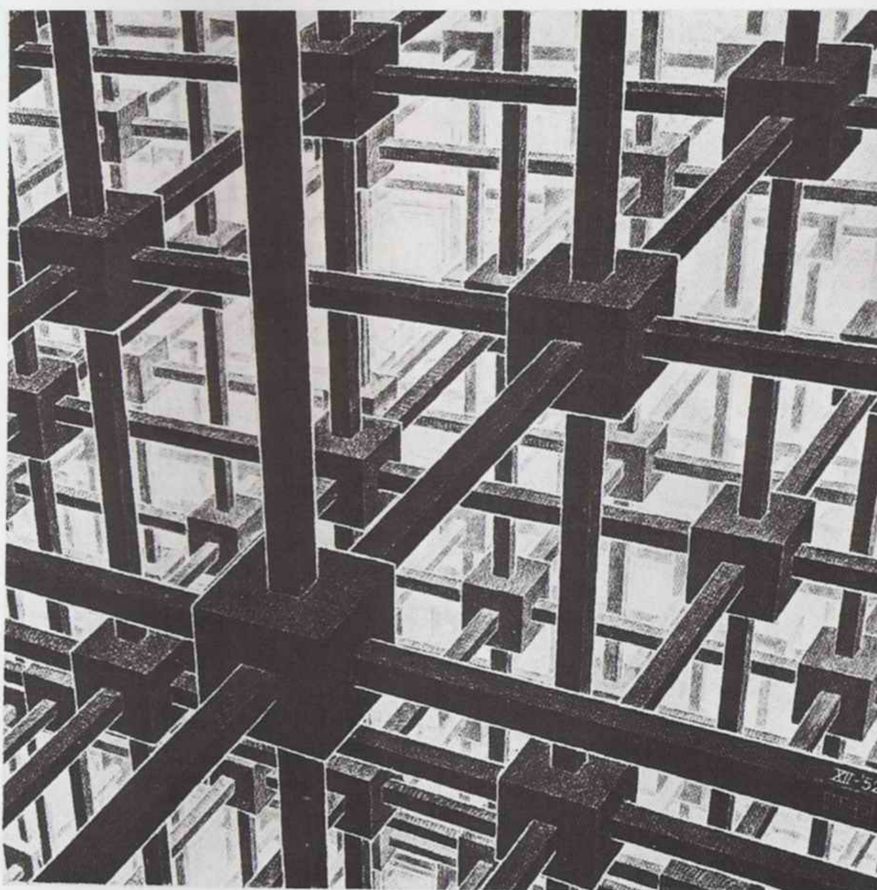
Naturalmente que el hecho de que a los elementos de un conjunto se les llame, por ejemplo, *puntos* y se califiquen de *geométricos* el lenguaje o las interpretaciones posibles de la estructura construida sobre él no tiene ningún sentido absoluto u objetivo; es, más bien, una cuestión de tradición, de posibles aplicaciones, de gusto, o de estilo (de *estilo geométrico* precisamente). En efecto; en la mayoría de las ocasiones se llama *espacio* a un conjunto y *puntos* a sus elementos en función de que la correspondiente estructura tenga aplicaciones a la geometría clásica o que, por el contrario, sea posible en ella utilizar —analógicamente se entiende— conceptos originarios de ésta. Por ejemplo: si se tiene el conjunto de las funciones reales continuas del intervalo [0, 1] en $\mathbb{R}$, cabe hablar del *espacio* que forman, cuando se le dota de una estructura de espacio vectorial, definiendo la suma de vectores y el producto de vectores por números del siguiente modo:

$$f = f_1 + f_2 \quad \text{si} \quad f(x) = f_1(x) + f_2(x) \quad \forall x \in [0, 1]$$
$$g = \alpha f_3 \quad \text{si} \quad g(x) = \alpha f_3(x) \quad \forall x \in [0, 1]$$

Incluso se puede definir (de muchas formas distintas) una distancia en dicho espacio. Por ejemplo:

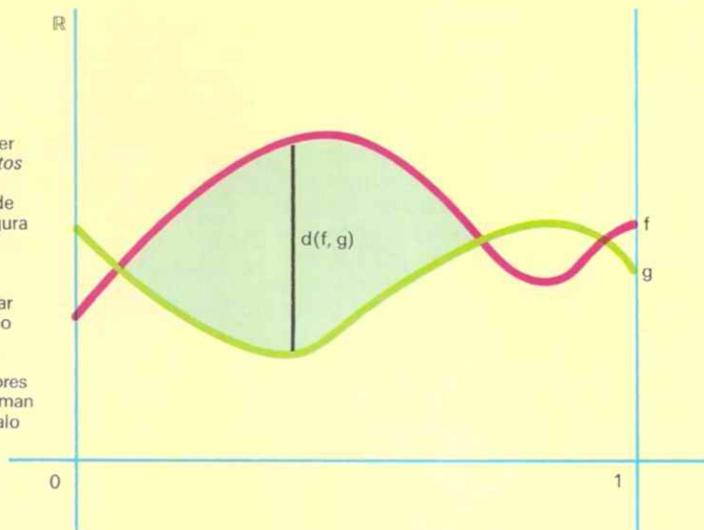
$$d(f, g)) = \sup_x |f(x) - g(x)|$$

como se ilustra en la figura de la página siguiente.




En nuestro tiempo, el desarrollo de conceptos matemáticos abstractos sobre el espacio y la aparición de escuelas pictóricas no figurativas han enriquecido las relaciones entre las artes plásticas y las ciencias matemáticas. Un ejemplo sumamente interesante se da en el genial pintor holandés Maurits Cornelis Escher (1902-72). La dimensión matemática de su obra –paradojas geométricas, espacios imaginarios, etcétera– es muy importante y los matemáticos profesionales se han contado entre sus mayores admiradores; uno de ellos, Coxeter, ha dicho de la obra que sirve de ilustración, *Cubic Space Division* (1952), que «su perspectiva da un maravilloso sentido del espacio infinito».

El lenguaje geométrico (*vector*, *distancia*, etc.) permite dar un carácter intuitivo a conceptos que, formalmente, tienen un comportamiento idéntico o análogo a otros de la geometría elemental, aunque el significado concreto sea muy diferente. Ello tiene varias ventajas: por un lado, la de facilitar el estudio, apoyar la intuición, servir de mecanismo nemotécnico, etc.; por otro, simplificar el lenguaje, sistematizar los conceptos y contribuir a la economía del pensamiento, encasillando en unos pocos moldes básicos la enorme pluralidad de estructuras; y, por último, sirviendo de guía heurística para, por analogía, ir prediciendo nuevos resultados en la investigación.




Un *espacio* puede ser un conjunto de *puntos* muy *especiales*, por ejemplo funciones de [0,1] en ℝ. En la figura adjunta se muestra la manera en la que puede definirse la *distancia* entre un par de tales *puntos* como la máxima de las diferencias, en valor absoluto, de los valores que las funciones toman a lo largo del intervalo de definición.

**Tipos de espacios abstractos** Según sean los conjuntos —finitos, infinitos de diferentes potencias, etc.— y, sobre todo, como sean las relaciones, operaciones y funciones que se definan en ellas se tienen distintos tipos de espacios. En principio cabe un criterio según que la estructura sea algebraica, topológica o combine ambas.

Entre los espacios de tipo algebraico están los espacios vectoriales (usualmente sobre ℝ o ℂ) y los correspondientes espacios puntuales afines. Por el contrario los espacios métricos o, en general, topológicos están definidos por estructuras propias de la Topología.

Sin embargo los *espacios* más ricos desde el punto de vista teórico y más interesantes desde el de las aplicaciones son aquellos sobre los que se definen estructuras algebraicas y topológicas y, a su vez, se imponen condiciones que relacionan unas con otras. Un caso sencillo es el de los espacios vectoriales *normados*; se trata de espacios vectoriales tales que a cada vector **x** se le asocia un número llamado *norma* $\|\mathbf{x}\|$ —que es positivo si el vector es no nulo y cero si lo es— con las propiedades de que la suma tiene norma menor o igual que la suma de las normas de los sumandos y que el producto de un número por un vector tiene la norma de este último por el valor absoluto (o módulo) del número. Un espacio de este tipo —y el espacio puntual asociado— tiene además de su estructura algebraica una de tipo métrico ya que la norma de la diferencia de dos vectores tiene propiedades de distancia. Los espacios vectoriales normados son un caso particular del más general de los *vectoriales topológicos*, que son espacios vectoriales en los que se ha definido una topología tal que, para ella, la suma de vectores y el producto de número por vector son funciones continuas.

Cabe en algunos casos complicar la cosa y definir sobre uno de estos espacios, relaciones (por ejemplo, de orden), funciones (por ejemplo, medidas), etcétera. Resulta también interesante señalar que la dimensión del espacio puede ser finita o infinita.

La estructura topológica puede darse de muchas formas. Por ejemplo es interesante la de los espacios euclídeos (de dimensión *n*) o el más general de los espacios de Hilbert; en ambos casos la norma se introduce mediante un producto escalar entre los vectores.

Otra posibilidad de *espacios* que sean, simultáneamente, sistemas matemáticos dignos de estudio y modelos aceptables de sistemas reales es el de las variedades topológicas *n*-dimensionales. Se trata de espacios topológicos que localmente se comportan como el interior de una esfera euclídea; es decir que cada punto tiene un entorno *homeomorfo* del interior de una esfera de $\mathbb{R}^n$.

Véase **Espacio euclídeo; Espacios métricos y topológicos; Espacios vectoriales y afines; Geometría diferencial; Geometrías; Método axiomático; Topología**




Una de las cumbres del pensamiento de todos los tiempos es, sin duda, el filósofo alemán Inmanuel Kant (1724-1804). Nació y vivió prácticamente toda su vida en Königsberg (Prusia Oriental), donde fue profesor. Su más importante obra es *Kritik der reinen Vernunft* (1781) ("Crítica de la razón pura"). Las ideas de Kant interesan a la matemática. De una forma muy simplificada suele decirse que sostenía que el hombre tiene capacidad para conocer *a priori* la forma espacial del mundo y que ésta dota a las sensaciones de una forma euclidiana. Según eso la aparición de geometrías no euclídeas habría refutado totalmente a Kant; tal es la opinión de muchos matemáticos y filósofos que le critican, además, por estar ya en su tiempo atrasado, por conocer a Leibniz y Newton pero ignorar las matemáticas de su época (Gauss tenía 27 años cuando muere el filósofo). Sin embargo, muchos estudiosos creen que la filosofía de Kant, aun hoy, conserva cierta validez.

Justo Barboza

# Espacios métricos y topológicos

Las ideas —de base más o menos empírica o racional— acerca de la *proximidad* entre dos puntos, la *continuidad* de una función, la *convergencia* de una sucesión de puntos hacia un *límite* y otras similares han sido usadas de forma *ingenua* o intuitiva desde antiguo por numerosos matemáticos. De hecho, autores griegos como Arquímedes utilizaban, a su modo, técnicas que las presuponían, por ejemplo en el conocido método de *exhaución* para el cálculo de áreas y volúmenes. A partir del siglo XVII el Análisis hace uso de tales ideas de forma sistemática aunque poco rigurosa (para el gusto actual) y sin formalizarlas explícitamente. En el siglo XIX se produce el proceso llamado de *aritmetización* del Análisis, por obra de los Cauchy, Dirichlet, Weierstrass, etc., y los conceptos de *límite*, *continuidad*, *aproximación*, etc. adquieren un carácter formal y riguroso; pero lo hacen en un contexto muy concreto y limitado: el de los conjuntos de puntos que, con notación actual, llamaríamos $\mathbb{R}$, $\mathbb{C}$, $\mathbb{R}^n$ o $\mathbb{C}^n$ (números reales o complejos y conjuntos de $n$-tuplas de los mismos), y en el de las funciones definidas entre ellos. Por último, la aparición de la Teoría de conjuntos de Cantor, los nuevos desarrollos del Análisis (ecuaciones funcionales por ejemplo), las concepciones más abstractas en la geometría, etc., dieron origen al estudio general de dichas propiedades en un marco riguroso y formalizado —el de la Topología— que empieza por definir estructuras simples y relativamente intuitivas (como la de *espacio métrico*) para ir creciendo luego en abstracción y complicación.

Aparte del propio Cantor, conviene citar a matemáticos, como Fréchet, creador en 1906 de los *espacios métricos*, Hausdorff, que en 1914 estableció axiomáticamente la Topología General, Banach y Hahn, que en los años 20 crearon los espacios normados, el polifacético Von Neumann y otros muchos que, en tiempos recientes, han desarrollado dicho campo de estudio.

**Topología de los espacios métricos** Un conjunto no vacío, E, se llama *espacio métrico* si se ha definido una aplicación de E x E en $\mathbb{R}_+$ (números reales no negativos), llamada *métrica* o *distancia*, que tiene las tres propiedades siguientes:

M1. $d(x, y) = 0$ si y sólo si $x = y$
M2. $d(x, y) = d(y, x)$ para todo x, y de E
M3. $d(x, y) \leqslant d(x, z) + d(z, x)$ para todo x, y, z de E

Más técnicamente suele decirse: el par (E, d) es un espacio métrico si E es un conjunto no vacío y *d* una aplicación de ExE en $\mathbb{R}_+$ que cumple M1, M2 y M3.

Obviamente el concepto de espacio métrico es una abstracción y generalización de espacios concretos, conocidos con anterioridad en la Matemática o la vida cotidiana, como la recta, el plano o el espacio euclídeos, considerando distancia entre dos puntos a la longitud del segmento que los une; también, los conjuntos $\mathbb{R}^n$ o $\mathbb{C}^n$ con la distancia $\sqrt{\Sigma|x_i - y_i|^2}$ entre los elementos $(x_1, ..., x_n)$ e $(y_1, ..., y_n)$, que se reduce para $\mathbb{R}$ y $\mathbb{C}$ al valor absoluto (o módulo) de la diferencia. Hoy, dichos espacios son, naturalmente, los ejemplos más sencillos de espacios métricos. Pero hay otros, importantes en las aplicaciones, que son muy diferentes. Por ejemplo, los mismos conjuntos $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$ pueden dar lugar a nuevos espacios métricos, diferentes de los usuales en la geometría y el análisis elementales, definiendo de otra forma (entre las infinitas posibles) las distancias; por ejemplo:

$$d_\infty(x, y) = \sup_i |x_i - y_i|$$
$$d_p(x, y) = [\Sigma|x_i - y_i|^p]^{1/p}$$

(siendo $p$ un número natural $1 \leqslant p < \infty$). Cuando $p = 2$ vuelve a obtenerse el caso euclídeo. Más curioso puede ser el resultado de otro tipo de conjuntos y distancias; por ejemplo, uno cualquiera, C, puede convertirse en un espacio métrico al dotarle de la llamada *métrica discreta*, definida del siguiente modo:

$d(x, y) = 0$ si y sólo si $x = y$
$d(x, y) = 1$ si y sólo si $x \neq y$

Una clase interesante de espacios métricos son los *espacios vectoriales normados*. Un espacio vectorial normado es un espacio vectorial E sobre un cuerpo $\mathbb{R}$ en el que, como $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$, esté definido el valor absoluto para sus elementos, con una aplicación de E en $\mathbb{R}_+$, denotada $\|.\|$, tal que cumpla las tres propiedades siguientes:

EVN1 $\|\mathbf{x}\| = 0$ si y sólo si $\mathbf{x} = 0$.
EVN2 $\|\mathbf{x} + \mathbf{y}\| \leqslant \|\mathbf{x}\| + \|\mathbf{y}\|$ para todo **x**, **y** de E.
EVN3 $\|\lambda\, \mathbf{x}\| = |\lambda|\, \|\mathbf{x}\|$ para todo **x** de E y $\lambda$ de $\mathbb{R}$.

Más técnicamente se llama espacio vectorial normado al par (E, $\|.\|$) con E y $\|.\|$ cumpliendo las condiciones anteriores.

Resulta inmediato probar que un espacio normado es un espacio métrico sin más que tomar como distancia la norma de la diferencia, $d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|$. Por otra parte, en tales espacios las estructuras algebraicas (de espacio vectorial) y topológica (de espacio métrico) están interrelacionadas.

Casos interesantes de espacios vectoriales normados son los $\mathbb{R}^n$ y $\mathbb{C}^n$ con las normas correspondientes a las distancias del tipo $d_p$ definidas antes; es decir:

$$\|x\|_\infty = \sup_i |x_i|$$
$$\|x\|_p = [\Sigma|x_i|^p]^{1/p} \qquad 1 \leqslant p < \infty$$

Muy útil en Análisis es el siguiente: C, conjunto de las funciones continuas de [0, 1] en $\mathbb{R}$, o en $\mathbb{C}$, con estructura de espacio vectorial para la suma de funciones y el producto de número por función y con las normas

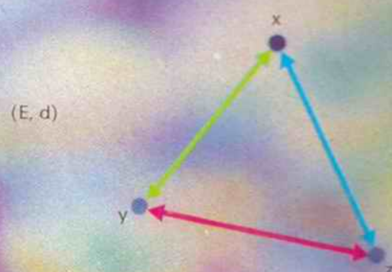
$$\|f\|_\infty = \sup_x |f(x)|$$
$$\|f\|_p = [\textstyle\int_0^1 |f(x)|^p dx]^{1/p} \qquad 1 \leqslant p < \infty$$

y correspondientes distancias.

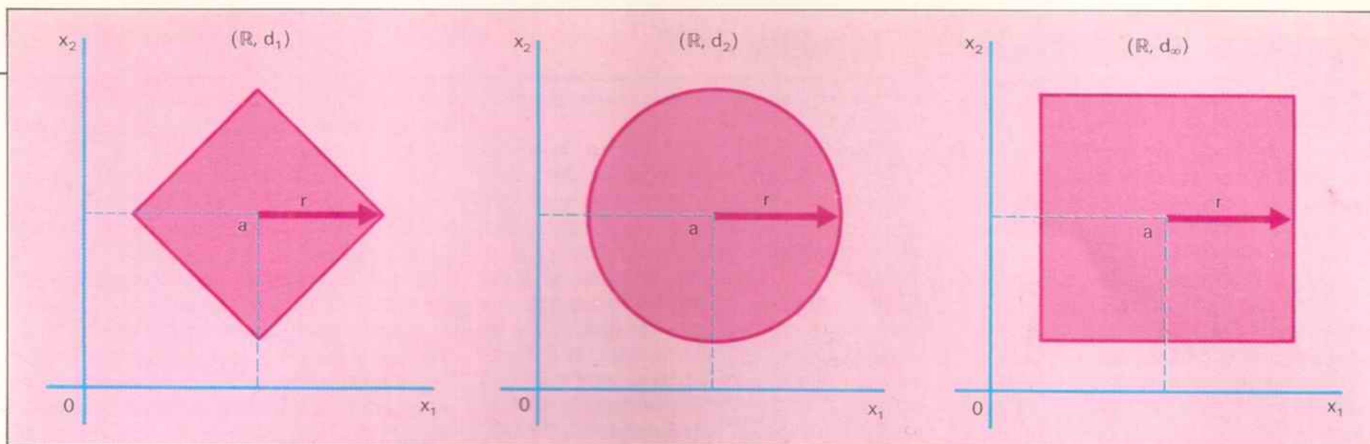
En un espacio métrico (E, d) se establece una *topología* del siguiente modo. Primero se definen las *bolas abiertas* y *cerradas*. Las primeras son conjuntos de puntos *x* del espacio que cumplen $d(x, a) < r$, siendo *r* un real positivo, llamado el *radio de la bola*, y *a* un punto del espacio, denominado *centro de la bola*. Las segundas son conjuntos análogos pero cumpliendo $d(x, a) \leqslant r$. Luego se definen los conjuntos *abiertos* como uniones (finitas o infinitas) de bolas abiertas. Inmediatamente se comprueba que la familia de todos los *abiertos* (abreviatura usual de *conjuntos abiertos*) cumple las propiedades siguientes:

A 1 El conjunto vacío $\phi$ y el propio E son abiertos.
A 2 La intersección finita de abiertos es abierta
A 3 La unión (finita o no) de abiertos es abierta

También se cumple otra propiedad interesante:




Un espacio métrico es un conjunto no vacío cualquiera tal que a cada par de sus "puntos" se le puede asociar su "distancia" (número que cumple propiedades idénticas a la distancia de la geometría elemental). La naturaleza de los "puntos" puede ser de lo más abstracto y variado —funciones, vectores, etc.— pero muchas veces, se representan, por analogía, como puntos del plano. En la ilustración se trata de evidenciar, con tal convenio, las tres propiedades básicas de la distancia.




En un mismo conjunto se pueden definir diferentes espacios métricos sin más que utilizar en él diversas distancias. Por ejemplo, un conjunto tan sencillo como $\mathbb{R}^2$ (el de los pares de números reales o, lo que es equivalente, el de los puntos del plano) es *soporte* de infinitos espacios métricos; tres muy usuales son los $(\mathbb{R}, d_1)$, $(\mathbb{R}, d_2)$ y $(\mathbb{R}, d_\infty)$. En la ilustración se representan gráficamente bolas de centro *a* y radio *r* correspondientes a dichos tres espacios. Repárese en la curiosidad, expresada de modo aparentemente contradictorio, de que las *bolas* no son *redondas*, salvo en el espacio euclídeo. Se recuerda que las distancias citadas están definidas por las expresiones:

$d_1(x, y) = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2|$

$d_2(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2}$

$d_\infty(x, y) = \sup(|x_1 - y_1|, |x_2 - y_2|)$

A 4 Dados dos puntos $x \neq y$ del espacio métrico E, siempre pueden encontrarse dos abiertos A y B tales que $x \in A$, $y \in B$ y además $A \cap B = \emptyset$

A continuación se define *conjunto cerrado* (o simplemente *cerrado*) como *complementario de un abierto*, lo que permite obtener sus propiedades, simplemente como *duales* de las A1, A2, y A3.

Por último, se define el concepto de *entorno* de un punto *x* en la forma que sigue: U es un *entorno* de *x* si U contiene un abierto al que pertenezca *x*. Los entornos de *x* constituyen una familia de conjuntos con las propiedades:

E 1 Todo entorno de *x* contiene a *x*

E 2 Todo conjunto A que contiene a un entorno de *x* es entorno de *x*

E 3 La intersección finita de entornos de *x* lo es también

E 4 Para todo entorno U de *x* existe un entorno V de x, contenido en U y tal que éste es entorno de todos los puntos de V.

En correspondencia con la propiedad A4 puede demostrarse también la

E 5 Si $x \neq y$ son dos puntos del espacio métrico E, es posible encontrar dos entornos U y V de *x* e *y*, respectivamente, tales que $U \cap V = \emptyset$

Con todos estos conceptos es posible dar forma rigurosa y formalizada a las ideas intuitivas de continuidad, convergencia, etc. (ver las *voces* que se dan como referencia).

**Espacios topológicos** Para bastantes aplicaciones la estructura de espacio métrico no es suficiente y es necesario recurrir a otra más general y abstracta: la de *espacio topológico*.

Un *espacio topológico*, E, es un conjunto no vacío con una familia de subconjuntos del mismo, llamada *topología* $\mathcal{T}$, y tal que cumple las propiedades antes designadas como A1, A2, y A3. Los tales subconjuntos se denominan *abiertos* y las citadas propiedades se postulan como axiomas iniciales. Más técnicamente se dice que el par $(E, \mathcal{T})$ es un espacio topológico si E es no vacío y $\mathcal{T}$ cumple las citadas propiedades. Evidentemente un espacio métrico es topológico pero no todo espacio topológico es métrico. Por ejemplo, a cualquier conjunto se le puede dotar de muchas topologías; dos inmediatas son las siguientes: la *discreta* y la *trivial*; la primera es la que forman todos los subconjuntos $\mathcal{P}(E)$ y la segunda la que forman sólo el vacío y el propio espacio, $\{\emptyset, E\}$. Se da la circunstancia de que la primera podría haberse obtenido también a partir de la métrica *discreta*, pero no así la segunda.

Después de tener la familia de los *abiertos* pueden definirse los conjuntos *cerrados* y también los *entornos* de cualquier punto, de modo idéntico a como se hace en el caso de espacios métricos y cumpliendo las mismas propiedades E1, E2, E3 y E4.

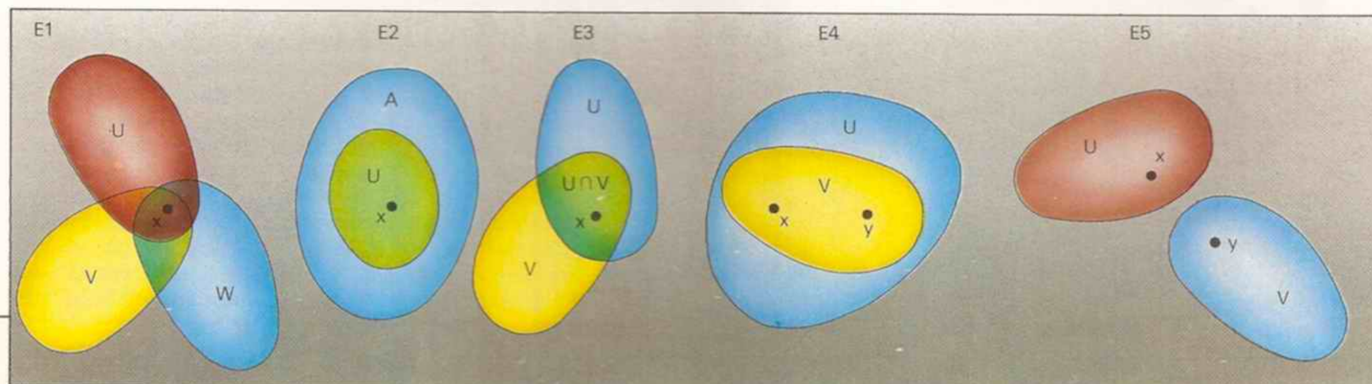
Conviene señalar, sin embargo, que las propiedades A4 y E5, respectivamente de los abiertos y los entornos en los espacios métricos, no son generalizables al caso de espacios topológicos; por ejemplo, no las cumple un espacio con la *topología trivial*. Precisamente aquellos espacios en los que se cumplen se llaman *separados* y conservan algunas de las propiedades de los métricos.

Se puede, también, definir un espacio topológico a partir de *conjuntos cerrados*, de entornos o con otras técnicas.

La estructura de espacio topológico puede combinarse con las de tipo algebraico dando lugar a estructuras combinadas de interés en muchos campos matemáticos. Por ejemplo, pueden definirse *grupos topológicos* o *espacios vectoriales topológicos* (el de los *espacios normados* es el más simple); en ambos casos la técnica es la misma: por un lado se da la estructura algebraica, por otro la topológica y además se impone la compatibilidad entre ambas por la condición de que las operaciones algebraicas (de grupo o de espacio vectorial en los ejemplos anteriores) sean continuas.

Véase **Continuidad; Convergencia; Espacio euclídeo; Espacios vectoriales y afines; Método axiomático; Topología**

La familia de los entornos de un punto en un espacio métrico o, más general, en un espacio topológico separado cumple las propiedades E1, E2, E3, E4 y E5; esta última no se conserva en los espacios topológicos no separados. La forma de los entornos puede ser muy complicada; cabe, sin embargo, en muchas ocasiones y para ayudar a la intuición, utilizar representaciones gráficas informales, como la de la ilustración. En ella se da una interpretación geométrica de las citadas propiedades de los entornos de un punto, considerando a éste como punto del plano y a aquéllos como subconjuntos del mismo.



# Espacios vectoriales y afines

Hace tiempo que se planteó una cuestión teórica y práctica de la mayor importancia, la de la posibilidad o no de determinar con un solo número ciertas magnitudes geométricas o físicas como, por ejemplo, una fuerza. La respuesta, ya antigua, es negativa. No basta con medir la intensidad de una fuerza para conocerla, es también necesario saber el punto en que actúa, la línea de acción de la misma y, naturalmente, su sentido.

Tales magnitudes se denominan *vectoriales*, porque para representarlas no es suficiente un *escalar* (un número) sino que es necesario un *vector*, es decir, un segmento de cierta longitud (que representa el valor o intensidad), apoyado en una recta y orientado. La forma más inmediata de definirle es mediante el par de puntos (A,B), que son su *origen*, A, y su *extremo*, B, y la más corriente de designarle, la notación $\overrightarrow{AB}$.

También puede quedar un vector determinado de otros modos, por ejemplo: dando el origen, la recta en que se apoya, el sentido en que actúa y su *módulo* o *norma*, denotada por $|\overrightarrow{AB}|$ o $\|\overrightarrow{AB}\|$ y que es, simplemente, el número no negativo que mide su longitud. (Conviene señalar que el término aceptado actualmente es el de *norma*, aunque el más clásico de *módulo* es aún usual en los cursos elementales, especialmente de geometría y mecánica, en los que se conserva el de *norma* para la acepción antigua de *cuadrado del módulo*).

Cuando dos vectores tienen la misma norma, la misma dirección (es decir sus rectas de acción son paralelas) y el mismo sentido se dice que son *equipolentes*. Se comprueba inmediatamente que la *equipolencia* es una relación de equivalencia (ya que es reflexiva, simétrica y transitiva). En muchas aplicaciones la equipolencia funciona como una auténtica igualdad y se consideran dos vectores iguales si coinciden sus normas, direcciones y sentidos: se habla entonces de *vectores libres*. En realidad, cada *vector libre* representa a la clase de todos sus equipolentes sea cual fuere su origen. En otros casos resulta indiferente el origen o punto de aplicación, pero no así la recta de apoyo: se habla entonces de *vectores deslizantes* porque uno determinado equivale a cualquiera de los que resultan de deslizarle por la recta en que se apoya, si se mantienen fijos norma y sentido. Por último, se llaman *vectores ligados* a los que tienen origen y extremo fijos. Si se usa un sistema de coordenadas cartesianas para determinar puntos resulta que un vector ligado puede darse por las seis coordenadas de los puntos A y B, y si es libre, por las tres del extremo, ya que el origen puede ponerse en el de coordenadas.

Aunque vectores ligados y deslizantes sean importantes en muchas aplicaciones geométricas, físicas o de otras ciencias, el mayor interés matemático radica en los vectores libres.

Los vectores libres, cuando se da un origen en el espacio, pueden asociarse al mismo y quedar determinados por las tres coordenadas de sus extremos respectivos, que se llaman entonces *componentes* de aquél. Como se comprende fácilmente, cuando los ejes son cartesianos rectangulares y las unidades de medida en los tres ejes son iguales las componentes son simplemente las proyecciones ortogonales del segmento orientado que define el vector; si los ejes no son rectangulares la cosa se complica ligeramente, pero sin presentar mayores dificultades.

A la idea de los vectores libres se puede llegar por las anteriores consideraciones geométricas o a través de otras de naturaleza aritmética o algebraica (números complejos, cuaternios, etc.) que desembocan en los sistemas de números $(x_1, x_2, x_3)$, elementos de $\mathbb{R}^3$, que pueden *identificarse* de modo natural con aquéllos sin más que asociar a cada vector la terna de componentes y recíprocamente (supuesto dado y fijo un sistema coordenado).

Pues bien: para dichos entes matemáticos cabe establecer un álgebra bastante rica, interesante, algo complicada y, además, con múltiples aplicaciones. Las operaciones básicas de la misma se resumen a continuación:

- Una *suma*, definida geométricamente del siguiente modo: dados los vectores $\mathbf{x}$ e $\mathbf{y}$, la suma es el vector diagonal del paralelogramo que forman, con origen en el común de los sumandos; equivale algebraicamente a que el vector suma tenga por componentes las sumas de los de los sumandos.

- Un *producto* de escalar (número real) por vector, definido geométricamente del siguiente modo: la dirección del producto $\alpha\mathbf{x}$ es idéntica a la del vector $\mathbf{x}$, el sentido el mismo o contrario, según que el número $\alpha$ sea positivo o negativo, y la norma, el resultado de multiplicar la del vector inicial, $\|x\|$, por el valor absoluto, $|\alpha|$, del número; algebraicamente la cosa es más simple, ya que los componentes del producto son las del vector primitivo multiplicadas por el número.

Se comprueba inmediatamente que el conjunto de los vectores libres, o lo que viene a ser lo mismo $\mathbb{R}^3$, tiene para estas operaciones las siguientes propiedades:

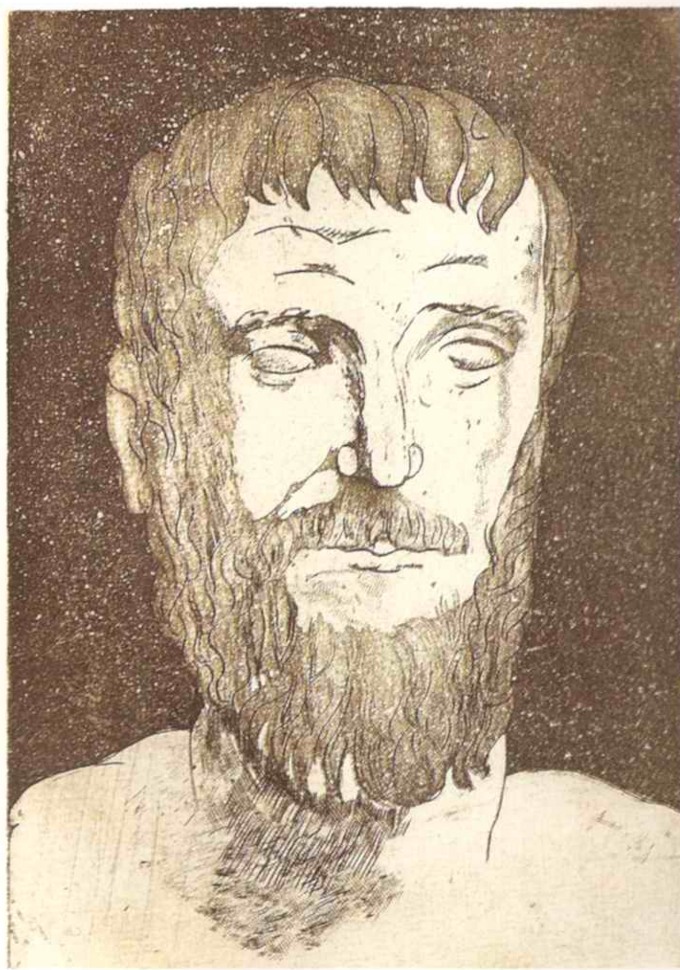
- Respecto a la suma, las de *grupo aditivo abeliano* (conmutativa, asociativa, existencia de vector nulo y opuesto de cada uno).

- Y respecto al producto, por escalares

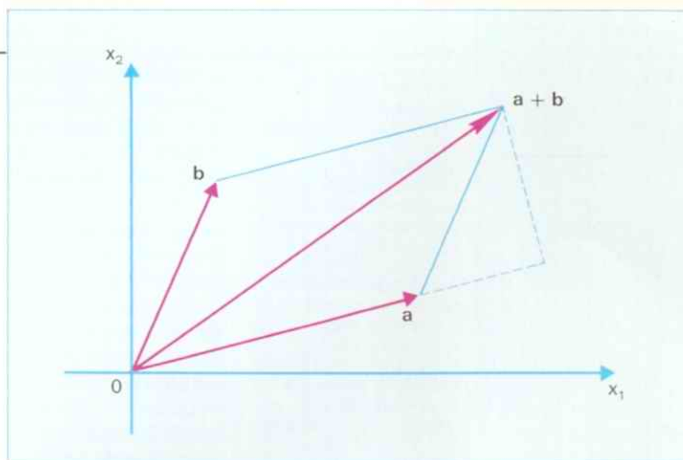
EV1 $(\alpha+\beta)\mathbf{x}=\alpha\mathbf{x}+\beta\mathbf{x}$
EV2 $\alpha(\mathbf{x}+\mathbf{y})=\alpha\mathbf{x}+\alpha\mathbf{y}$
EV3 $\alpha(\beta\mathbf{x})=(\alpha\beta)\mathbf{x}$
EV4 $1\mathbf{x}=\mathbf{x}$

para cualesquiera número reales $\alpha$ y $\beta$ y vectores $\mathbf{x}$ e $\mathbf{y}$.

Se definen también otras operaciones en el cálculo vectorial elemental. Las más



Pitágoras es uno de los personajes más enigmáticos de la historia de la matemática y la filosofía. Nació probablemente en la isla de Samos hacia el año 580 a. de C. (f. *ca* 532 a. de C.) y quizá viajase por Egipto y otras partes del mundo antiguo. Algunos autores, sin duda exageradamente, dudan de su existencia real, aunque no de la de la escuela pitagórica, fundada por él en Crotona (Italia). La escuela pitagórica sostenía, en el plano filosófico, que la esencia de las cosas eran los números y cultivaba la música y la matemática (precisamente la palabra "matemático" viene a significar "científico" y fue la que se dieron a sí mismos los pitagóricos). El famoso teorema de Pitágoras era ya conocido con anterioridad en forma de casos concretos, pero ellos, quizá, lo probaran en general. Se da la paradójica circunstancia de que tal teorema hace aparecer números irracionales, con lo que se pone en entredicho la armónica explicación de todo a base de números naturales.




En el caso de $E_2$ y $E_3$ la suma de dos vectores es, simplemente, su vector diagonal y se ve fácilmente entonces cómo se cumple que el cuadrado de su módulo es la suma de los cuadrados de los módulos de los dos sumandos menos el doble del producto escalar de los mismos; cuando los vectores son perpendiculares, el producto escalar vale cero y se cumple el teorema de Pitágoras.

interesantes son las llamadas *producto escalar* y *producto vectorial*. El primero atribuye a cada par de vectores, **x** e **y**, un número, denotado (**x**,**y**) o **xy**, igual al producto de las dos normas por el coseno del ángulo que forman o, lo que se prueba es lo mismo, $x_1y_1+x_2y_2+x_3y_3$ si $(x_1, x_2, x_3)$ e $(y_1, y_2, y_3)$ son las componentes. El segundo atribuye a cada par de vectores **x** e **y** uno nuevo, denotado $\mathbf{x}\wedge\mathbf{y}$, que tiene por norma el producto de las de los factores por el seno del ángulo que forman, por dirección la perpendicular a ellos y por sentido aquél que hace que **x**, **y** y $\mathbf{x}\wedge\mathbf{y}$ formen un triedro *a derechas* (como el que se adopta para los ejes coordenados).

El producto escalar tiene entre otras propiedades la de permitir definir la norma y la distancia del modo *euclídeo*

$$\|\mathbf{x}\|=\sqrt{(\mathbf{x},\mathbf{x})}$$

$$d(\mathbf{x},\mathbf{y})=\|\mathbf{x}-\mathbf{y}\|=\sqrt{(\mathbf{x}-\mathbf{y},\mathbf{x}-\mathbf{y})}$$

**Espacios vectoriales generales** Múltiples problemas, matemáticos o no (resolución de sistemas lineales por ejemplo), han aconsejado definir, por generalización y abstracción, una estructura algebraica llamada *espacio vectorial* en los siguientes términos:

Si $\mathbb{K}$ es un cuerpo (conmutativo), se dice que el conjunto no vacío E es un espacio vectorial sobre $\mathbb{K}$ si están definidas para sus elementos (llamados *vectores*) una suma, así como el producto de éstos por elementos de $\mathbb{K}$ (llamados *escalares*),de modo que, respecto a la primera, es un *grupo aditivo abeliano* y respecto a la segunda cumple las propiedades EV1, EV2, EV3 y EV4. (Usualmente $\mathbb{K}$ es $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$). Más técnicamente suele decirse que el espacio es la cuaterna $(E, \mathbb{K}, +, \cdot)$, siendo (+) y (·) las dos operaciones citadas.

Entre los ejemplos más sencillos se reencuentran inmediatamente: el espacio de los vectores libres de la geometría ordinaria y $\mathbb{R}^n$, conjunto de *n-tuplas* $(x_1, x_2, ..., x_n)$ de reales con la suma y el producto por escalares definidos componente a componente, $(x_1+y_1, ..., x_n+y_n)$ y $(\alpha x_1, ..., \alpha x_n)$ respectivamente; ambos espacios sobre $\mathbb{R}$. Y el análogo $\mathbb{C}^n$ sobre $\mathbb{C}$. Pero también pueden examinarse casos menos inmediatos: por ejemplo, el conjunto de los polinomios de grado menor o igual a *n*, con la suma de polinomios y el producto usual de número por polinomio, o el de las funciones continuas de un intervalo real [a, b] en $\mathbb{R}$ o en $\mathbb{C}$ para la suma y el producto por escalares usuales

$$f=f_1+f_2 \text{ si } f(x)=f_1(x)+f_2(x), \quad \forall x\in[a,b]$$
$$g=\alpha f_3 \text{ si } g(x)=\alpha f_3(x), \quad \forall x\in[a,b]$$

siendo $f_1$, $f_2$ y $f_3$ funciones continuas cualesquiera y el escalar $\alpha$ real o complejo según se quiera que el espacio quede definido sobre $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$.

De la definición es posible extraer inmediatamente múltiples propiedades: por ejemplo, la suma de más de dos vectores tiene las mismas propiedades que la de varios números en $\mathbb{R}$, o el producto del cero del cuerpo $\mathbb{K}$ por cualquier vector da el vector nulo, etc.

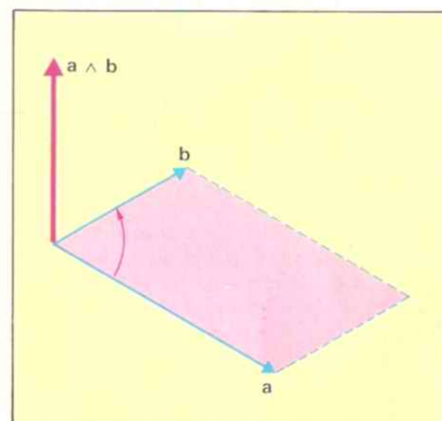
Desarrollos importantes se obtienen a partir de las definiciones de *combinación lineal* y *sistema linealmente independiente*. La primera es, simplemente, la operación de combinar varios vectores mediante las operaciones de producto por escalar y suma; es decir, si se tienen los vectores $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, ..., \mathbf{x}_r$, una combinación lineal de los mismos es:

$$\alpha_1\mathbf{x}_1+\alpha_2\mathbf{x}_2+...+\alpha_r\mathbf{x}_r$$

con $\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_r \in \mathbb{K}$, el cuerpo de definición del espacio. Por otra parte un sistema $\mathbf{x}_1, ..., \mathbf{x}_r$ de vectores se llama *linealmente dependiente* si existe un conjunto de escalares $\alpha_1, ..., \alpha_r$ no todos nulos tales que

$$\alpha_1\mathbf{x}_1+\alpha_2\mathbf{x}_2+...+\alpha_r\mathbf{x}_r=0$$

y *linealmente independiente* si el único




Se deduce fácilmente de su definición que el producto vectorial de dos vectores en $E_3$ es el vector perpendicular a ambos, cuyo módulo vale el área del paralelogramo que determinan y cuya orientación es tal que el triedro que forma con los factores sea "a derechas".

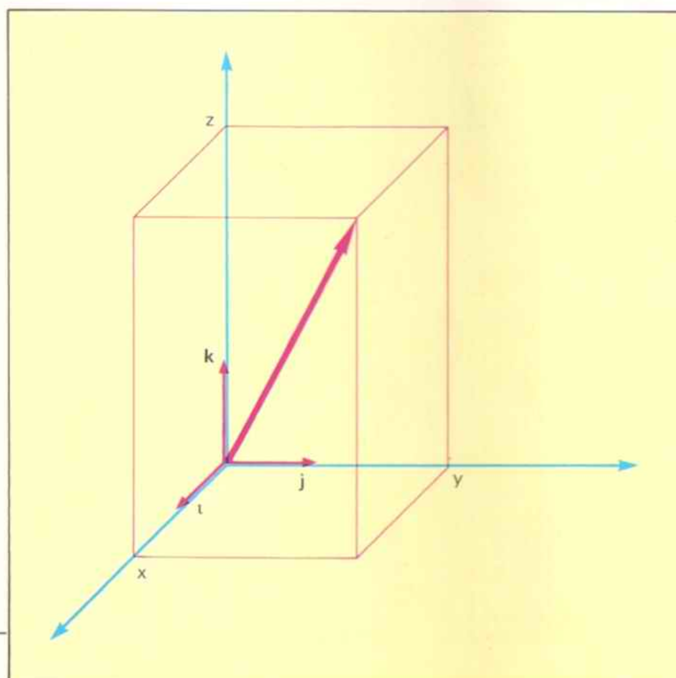
que cumple la anterior igualdad es $\alpha_1=\alpha_2=...=\alpha_r=0$.

Se da la circunstancia de que existen espacios vectoriales en los que se pueden encontrar sistemas linealmente independientes de 1, 2, ..., *n*, vectores pero no de *n*+1. Se dice entonces que son de *dimensión n*, lo que suele explicitarse escribiendo $E_n$, y resulta que, dado uno de los sistemas del máximo orden posible, *n*, llamados normalmente *bases*, por ejemplo $(\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, ..., \mathbf{e}_n)$, cualquier otro vector **x** puede ponerse como combinación lineal de ellos, ya que tiene que suceder que:

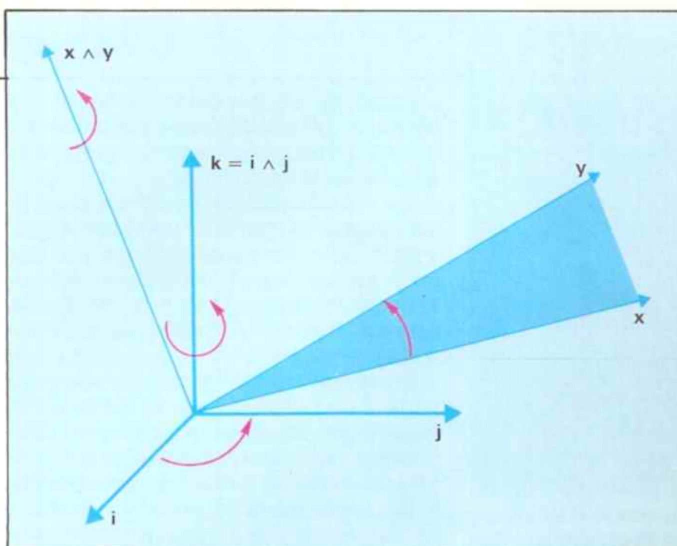
$$\alpha_1\mathbf{e}_1+\alpha_2\mathbf{e}_2+...+\alpha_n\mathbf{e}_n+\alpha_{n+1}\mathbf{x}=0$$

y, consecuentemente,

$$x=x^1\mathbf{e}_1+x^2\mathbf{e}_2+...+x^n\mathbf{e}_n$$




Un vector puede darse por sus componentes según una base. En el caso elemental de $E_3$ es usual tomar como base la formada por tres vectores unitarios y ortogonales dos a dos, que suelen denominarse *i*, *j* y *k*. Ello se corresponde con la práctica geométrica tradicional de tomar ejes cartesianos trirrectangulares y medir las longitudes sobre ellos con unidades idénticas. En este caso las componentes del vector son las medidas de los lados del ortoedro que se forma proyectando ortogonalmente como indica la figura.




Una operación interesante en Mecánica y Geometría es la del producto vectorial de dos vectores, que se define en $E_3$ como un vector perpendicular a éstos, cuyo sentido se toma de modo que el triedro, formado por el primer factor, el segundo y él mismo tenga orientación idéntica al de referencia, y cuyo módulo o norma sea el producto de los módulos de los vectores y el seno del ángulo que forman. En la figura se muestra cómo se define el sentido del producto vectorial.

(habiendo hecho $x^i = -\alpha^i/\alpha_{n+1}$). A los números $x^i$ se les suele denominar las *componentes* (*contravariantes*) de **x** en la base ($\mathbf{e}_i$) y puede probarse fácilmente que dada una base fija las componentes de **x** en ella son únicas. (El uso de superíndices para las componentes suele perseguir varios fines, entre otros distinguir las usuales que se llaman también *contravariantes*, de las denominadas *covariantes*, definidas en los espacios euclídeos como productos escalares del vector por los elementos de la base).

Conviene señalar que cuando se toma una base distinta, ($\mathbf{e}'_i$), cambian las componentes y es posible encontrar la relación entre las nuevas y antiguas si se dan las existentes entre ambas bases. También es interesante advertir que aquellos espacios para los que es posible encontrar sistemas de vectores linealmente independientes de un orden tan grande como se quiera —por ejemplo el antes citado de las funciones continuas de [a, b] en ℝ o ℂ— se denominan de *dimensión infinita*. Sin embargo, sigue pudiéndose en ellos (y para demostrarlo hay que recurrir al *axioma de libre elección*) encontrar *bases*, entendiendo por tales a los sistemas de vectores linealmente independientes que cumplen que cualquier otro puede expresarse como una combinación lineal única de elementos de la misma (tales bases suelen llamarse *algebraicas* o *de Hamel* para distinguirlas de otros sistemas de vectores linealmente independientes que para engendrar todo el espacio recurren a *combinaciones lineales* y *pasos al límite*). Se denomina *Algebra lineal* a la parte del Algebra que se ocupa de los espacios vectoriales de dimensión finita y de las propiedades puramente algebraicas de todos.

De lo dicho resulta evidente la biyección existente entre un espacio *n-dimensional* cualquiera $E_n$ y el $\mathbb{K}^n$ de las *n-tuplas* de escalares, sin más que asociar a cada vector del primero la *n-tupla* de sus componentes (supuesta dada una base fija en $E_n$). Además, por la forma en que se definen las componentes y por la de hacer las operaciones en ambos espacios resulta que también se corresponden los resultados de sumar y multiplicar por escalares y, por ello se denominan los dos espacios *isomorfos*. En general, si E y F son espacios sobre el mismo 𝕂 se dice que F es una *imagen homomorfa* de E si existe una *aplicación lineal*, L, de E en F, es decir, tal que:

$$L(\alpha\mathbf{x} + \beta\mathbf{y}) = \alpha L(\mathbf{x}) + \beta L(\mathbf{y})$$

para todo $\alpha$, $\beta \in \mathbb{K}$ y **x**, **y** ∈ E. (A una tal L se le suele llamar también *transformación lineal*, *operador lineal* u *homomorfismo* de E en F). Cuando L es una biyección —como en el caso antes citado de $E_n$ y $\mathbb{K}^n$— se dice que es un *isomorfismo* y que ambos espacios son *isomorfos*. Cuando E y F son los espacios $\mathbb{R}^m$ y $\mathbb{R}^n$, o los $\mathbb{C}^m$ y $\mathbb{C}^n$, respectivamente, (u otros isomorfos de ellos), se puede dar una expresión de la aplicación líneal en forma de una matriz rectangular de orden mxn, de componentes reales o complejos según sea uno u otro caso.

Como se comprende inmediatamente, la estructura algebraica de espacio vectorial puede combinarse con otras de naturaleza topológica. La más general de las estructuras resultantes es la de *espacio vectorial topológico*, que es un espacio vectorial con una topología para la que la suma de vectores y el producto de éstos por escalares son funciones continuas. Un caso elemental es el de *espacio vectorial normado*, que es el espacio vectorial topológico más sencillo; en el que se ha definido una norma con propiedades idénticas a la de la norma euclídea en el espacio ordinario (véase, para más detalle, la voz "Espacios métricos y topológicos").

De todos modos, la forma más sencilla de conseguir, utilizando recursos algebraicos, propiedades topológicas (más concretamente: métricas) en un espacio vectorial *n-dimensional* real es darle estructura euclídea. Ello se consigue definiendo un producto escalar que tiene idénticas propiedades al usual en el espacio euclídeo ordinario (véase, para más detalle, la voz "Espacio euclídeo"). En un espacio euclídeo se pueden definir unas nuevas coordenadas, llamadas *covariantes*, para el vector **x** como los productos escalares (**x**, $\mathbf{e}_i$) que se denotan $x_i$. Naturalmente, si los $\mathbf{e}_i$ son *ortonormales* (es decir ortogonales dos a dos y de normas unitarias) $x_i = x^i$ y se pierde la distinción entre ambas.

**Espacios puntuales afines** Resulta, genética e históricamente, claro cómo a partir del espacio puntual ordinario de la geometría elemental se origina el de los vectores libres de tres dimensiones, y de éste, a su vez, por generalización y abstracción, la estructura algebraica de espacio vectorial sobre un cuerpo cualquiera. En efecto: si se tiene el espacio puntual ordinario, cualquier pareja ordenada, (A, B), de puntos del mismo define un vector, de origen A y extremo B, $\overrightarrow{AB}$, de modo que se cumplen las tres propiedades siguientes:

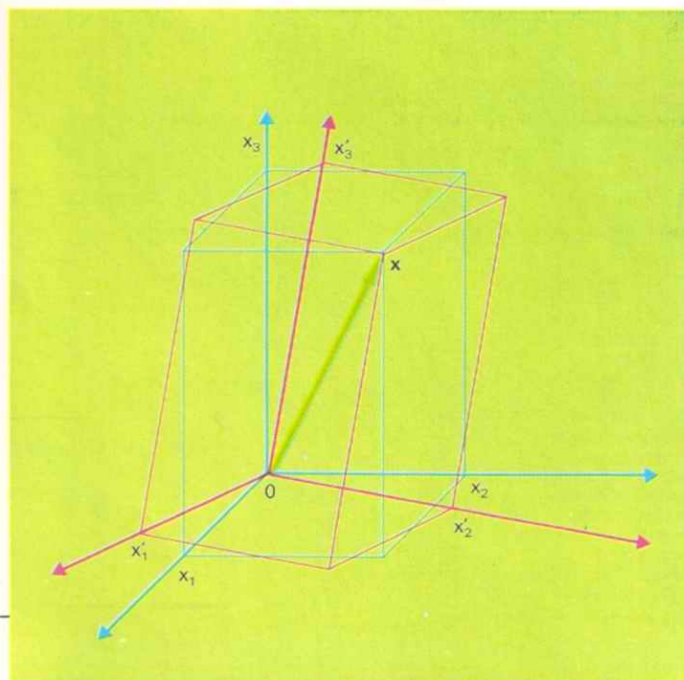
EA1 $\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{BA}$ para todo A, B

EA2 $\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB}$ para todo A, B, C

EA3 si O es un punto fijo cualquiera y **a** un vector libre arbitrario, existe un punto único A tal que OA = **a**.

Pues bien, si E es un espacio vectorial sobre un cuerpo 𝕂 (normalmente ℝ o

Un mismo vector puede tener infinitos conjuntos de componentes, según las infinitas posibles bases que pueden tomarse en el espacio a que pertenece. El problema de pasar de unas a otras se reduce, como puede demostrarse fácilmente, a multiplicar por la llamada matriz de cambio de base. En la figura se ve, para el caso de $E_3$, cómo las componentes pueden variar al cambiar las bases (que definen, geométricamente, los ejes coordenados). Puede, por otra parte, observarse cómo los ejes no son necesariamente ortogonales.



$\mathbb{C}$) y $\mathcal{E}$ es un conjunto tal que a todo par de elementos del mismo puede asociárseles vectores de E, de modo que se cumplan EA1, EA2 y EA3, se dice que es un *espacio puntual afín asociado a E*. En particular: si el espacio vectorial tiene dimensión *n*, $E_n$, también se dice que $\mathcal{E}$ es *n-dimensional* y se denota $\mathcal{E}_n$. Los casos más sencillos corresponden a los espacios puntuales afines asociados a los vectoriales sobre el cuerpo de los reales $\mathbb{R}$, $\mathbb{R}^2$ y $\mathbb{R}^3$, de dimensiones respectivas 1, 2 y 3, e isomorfos de la recta, el plano y el espacio ordinarios de la geometría elemental.

Si en $E_n$ hay elegida una base ($\mathbf{e}_1, ..., \mathbf{e}_n$), y en $\mathcal{E}$ un punto fijo cualquiera, O, resulta que éste y dicha base, es decir (O; $\mathbf{e}_1, ..., \mathbf{e}_n$), constituyen lo que se llama un *sistema de referencia en E*, ya que cualquier punto A puede determinarse a partir del mismo en la siguiente forma:

$$\overrightarrow{OA} = \mathbf{a} = \sum_{i=1}^{n} a^i \mathbf{e}_i$$

Las componentes $a^i$ de **a** respecto a los ($\mathbf{e}_i$) son las coordenadas del punto A respecto a (O; $\mathbf{e}_i$). Como es lógico, un cambio de (O; $\mathbf{e}_i$) a (O'; $\mathbf{e}'_i$) supondrá que el mismo punto A tendrá como nuevas coordenadas las componentes del vector $\mathbf{a}' = \overrightarrow{O'A}$ en la base ($\mathbf{e}'_i$).

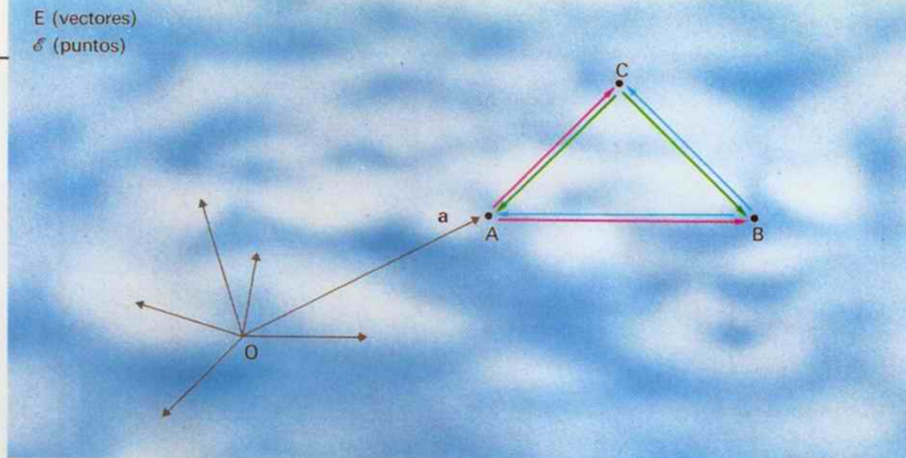
Las peculiaridades de E, en particular las relaciones, operaciones, etc., definidas en él, se reflejan inmediatamente en $\mathcal{E}$. Así, por ejemplo, si E es normado (y por tanto métrico) también lo será el espacio $\mathcal{E}$ puntual asociado; en efecto $d(A, B) = \|\overrightarrow{AB}\| = \|\overrightarrow{OB} - \overrightarrow{OA}\|$. Más concretamente, si se trata de un espacio vectorial *euclídeo n-dimensional* será también *euclídeo* el espacio puntual asociado y se tendrá $d(A, B) = \sqrt{\Sigma(x_i - y_i)^2}$ si ($x_1, ..., x_n$) e ($y_1, ..., y_n$) son las coordenadas de A y B respecto a un sistema de referencia (0; $\mathbf{e}_i$), o componentes de OA y OB en la base *ortonormal* ($\mathbf{e}_i$).

La relación entre espacios vectoriales y espacios puntuales afines permite un tratamiento algebraico (o *analítico*, si se quiere utilizar tal término) de la geometría *n-dimensional* y generaliza y formaliza la vieja idea de la geometría analítica cartesiana.

**Estructuras análogas** En muchos problemas algebraicos y geométricos aparecen estructuras análogas o derivadas —como se ha visto en el caso de los espacios puntuales afines— de la de espacio vectorial. De un modo casi telegráfico conviene recordar algunas:

Se llama *módulo* sobre $\mathbb{A}$, o $\mathbb{A}$-módulo, siendo $\mathbb{A}$ un anillo conmutativo y con elemento unidad, a una estructura con las mismas propiedades que la de espacio vectorial, pero sustituyendo el cuerpo $\mathbb{K}$ de la definición por el anillo $\mathbb{A}$ (se habla de *$\mathbb{A}$-módulo* por *la derecha* o *por la izquierda* si resulta que el anillo $\mathbb{A}$ no es conmutativo).

Se llama *álgebra lineal asociativa* (a veces simplemente *álgebra lineal* o, incluso,




En la ilustración (que, quiméricamente, pretende dar idea, con una representación concreta sobre el plano, del comportamiento de un espacio afín n-dimensional abstracto y de su espacio vectorial asociado) se muestran, de modo intuitivo e informal, las propiedades EAI, EA2 y EA3 de los espacios puntuales afines.

*álgebra* si no hay riesgo de error) a una estructura E tal que: respecto a dos operaciones internas, suma y producto, definidas en ella es un anillo; respecto a la misma suma y al producto por elementos de un cuerpo $\mathbb{K}$ es un espacio vectorial y además se cumple en ella que

$$\alpha(\mathbf{x}\mathbf{y}) = (\alpha\mathbf{x})\mathbf{y} = \mathbf{x}(\alpha\mathbf{y})$$

para todo α de $\mathbb{K}$ y **x** e **y** de E.

Un caso típico de *álgebra* es el conjunto de las matrices cuadradas de orden *n* sobre $\mathbb{R}$ o $\mathbb{C}$; otro, más general, el de los operadores lineales de un espacio vectorial. Estas álgebras no son conmutativas; sí lo es, por el contrario, el propio $\mathbb{C}$, considerado álgebra sobre sí mismo.

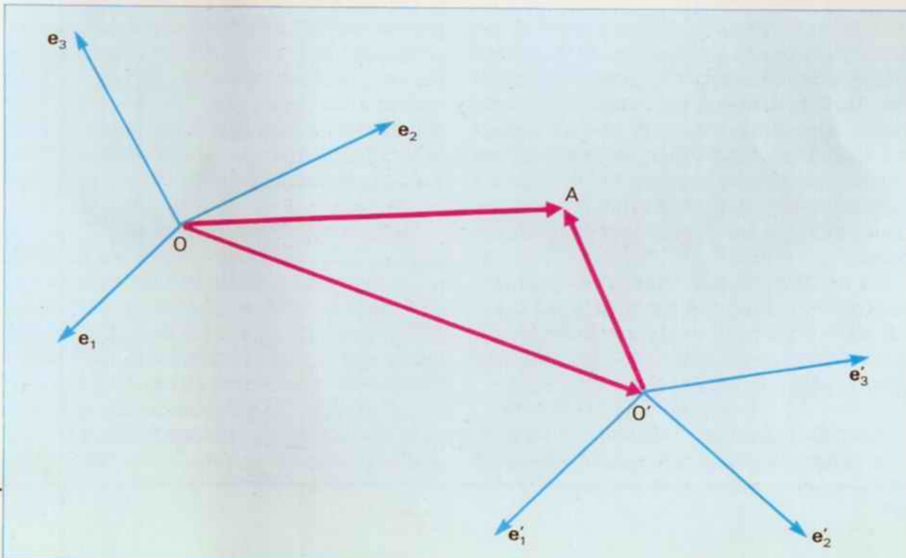
Puede también considerarse un *álgebra lineal no asociativa*, liberando al producto interno de la propiedad asociativa; un caso típico lo constituye el espacio de los vectores de la geometría elemental utilizando como operaciones internas la suma y el producto vectorial, y como operación externa, la multiplicación por escalares (números reales); cuando dicha estructura se generaliza se obtiene lo que se llama un *álgebra de Lie*.

Ya hemos visto cómo a partir de un espacio vectorial E puede obtenerse un *espacio puntual afín* $\mathcal{E}$. De modo análogo puede obtenerse un espacio *proyectivo P(E)*, cada uno de cuyos elementos es una de las clases de equivalencia que se obtienen en E prescindiendo del vector nulo y considerando equivalentes dos vectores **x** e **y** cuando son colineales (es decir cuando existe un número distinto de cero, α tal que $\mathbf{y} = \alpha\mathbf{x}$); si E es $\mathbb{K}^{n+1}$, P(E) se denota $P_n(E)$.

Es posible también definir aplicaciones *multilineales* de varios espacios (iguales o distintos) en otro; es decir, aplicaciones que son lineales en cada variable cuando las otras son constantes. A partir de tales aplicaciones, objeto del Algebra Multilineal, es posible definir muchos conceptos usuales en álgebra y geometría, como productos escalares, determinantes, tensores, etc.

Véase **Determinantes; Ecuaciones y sistemas lineales; Espacio euclídeo; Espacio matemático; Espacios métricos y topológicos; Geometría analítica; Geometrías; Grupos, anillos y cuerpos; Matrices; Método axiomático**

Cuando se tiene en un espacio afín un punto origen O y en el espacio vectorial asociado una base ($\mathbf{e}_i$) a cada punto, A, se le puede asociar un vector $\overrightarrow{OA}$ y a éste sus componentes, que son las coordenadas del citado punto A respecto al sistema de referencia (O, $\mathbf{e}_i$). Cambios de origen en el espacio afín o de base en el vectorial provocan cambios en las coordenadas de un punto fijo.



# Espectro

Cuando observamos el arco iris, estamos observando el espectro de la luz visible. Según la Física, el *espectro* se define como una representación de la intensidad de radiación en función de la masa, el momento, la longitud de onda o la frecuencia. La radiación que origina el espectro puede ser de origen electromagnético o mecánico.

El término *espectro* se utiliza también para describir una serie de niveles energéticos, como en el caso de los átomos.

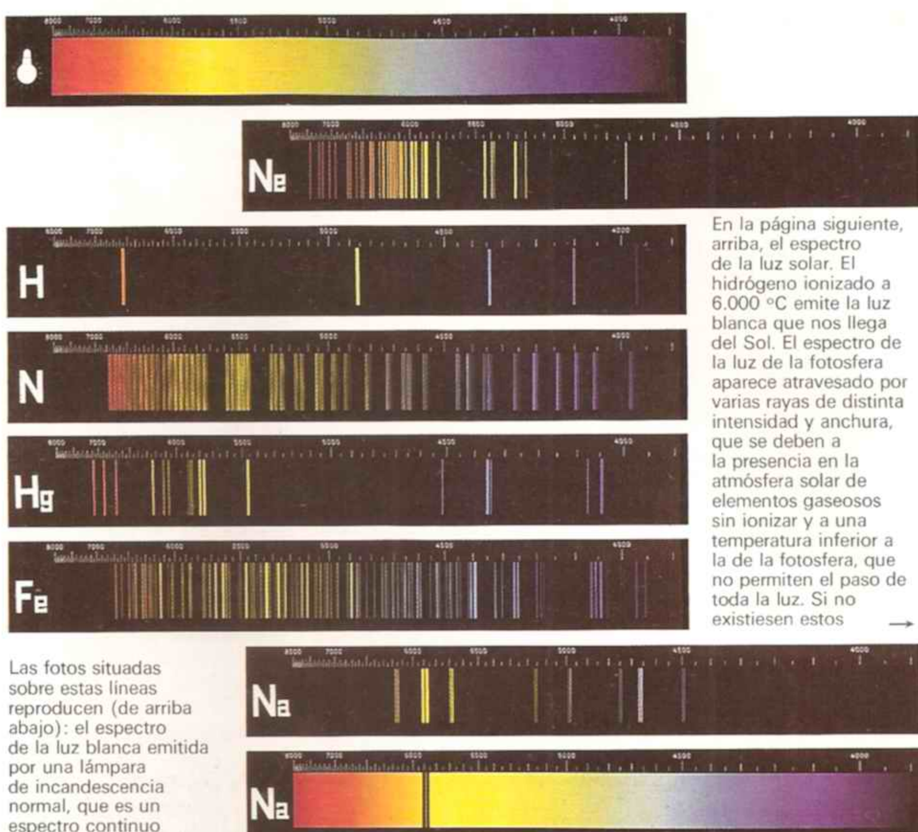
**Espectro electromagnético** Todas las radiaciones electromagnéticas presentan características similares, debido a que todas tienen su origen en aceleraciones de cargas eléctricas, que crean campos magnéticos y eléctricos oscilantes. Sin embargo, estas radiaciones reciben nombres diferentes en función de su longitud de onda. Siguiendo un orden de longitudes de onda decrecientes, el espectro electromagnético se divide en zonas que empiezan con las ondas de radio (que incluyen las de televisión) y siguen con las microondas, la radiación infrarroja, la radiación luminosa visible, la radiación ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma.

El campo de variación de la longitud de onda en el espectro electromagnético va desde los cortos rayos gamma (que tienen longitudes de onda del orden de $10^{-5}$ angström) a las ondas de radio más largas, cuya longitud de onda puede ser de 10 km e incluso más.

El arco iris es simplemente el espectro de la radiación visible, donde están presentes las longitudes de onda que se pueden ver porque estimulan la retina del ojo y el nervio óptico que lo une al cerebro. El arco iris aparece a nuestra vista como una banda de colores porque el ojo registra los grupos de diferentes longitudes de onda como colores distintos (las ondas más largas corresponden al extremo rojo del espectro, y las más cortas, a la parte opuesta, el extremo violeta). La luz que vemos habitualmente suele ir acompañada también por una parte de radiaciones de longitud de onda relativamente larga (las infrarrojas) y una parte de las radiaciones de longitud de onda relativamente corta (las ultravioletas), que no son visibles para el ojo humano.

Algunas de las subdivisiones del espectro electromagnético, en sus respectivos márgenes inferior y superior, se solapan, de forma que estas zonas del espectro no se pueden clasificar con unos límites claros en función de la longitud de onda: por ejemplo, algunos de los rayos X más largos tienen las mismas longitudes de onda que los rayos ultravioleta más cortos.

La clasificación se refiere en realidad, más que a la longitud de onda, a las fuentes de radiación o al tipo de instrumento empleado para producir o detectar esa zona espectral.




Las fotos situadas sobre estas líneas reproducen (de arriba abajo): el espectro de la luz blanca emitida por una lámpara de incandescencia normal, que es un espectro continuo (espectro de bandas); el espectro de emisión del gas neón (en un tubo de Plücker); el espectro de emisión de rayas del hidrógeno (en un tubo de Plücker); el espectro de emisión de rayas del nitrógeno (en un tubo de Plücker); el espectro de emisión de la luz de una lámpara de mercurio, que es de rayas; el espectro de emisión de rayas del hierro (arco voltaico incandescente); el espectro de emisión, también de rayas, de la luz de una lámpara de sodio, y en último lugar, el espectro de absorción, de rayas, de vapores de sodio. Todos los espectros de los elementos presentados son discontinuos, de acuerdo con el hecho de que sólo se puede emitir o absorber ciertas radiaciones porque los saltos energéticos de los electrones se producen entre niveles discontinuos.

En la página siguiente, arriba, el espectro de la luz solar. El hidrógeno ionizado a 6.000 °C emite la luz blanca que nos llega del Sol. El espectro de la luz de la fotosfera aparece atravesado por varias rayas de distinta intensidad y anchura, que se deben a la presencia en la atmósfera solar de elementos gaseosos sin ionizar y a una temperatura inferior a la de la fotosfera, que no permiten el paso de toda la luz. Si no existiesen estos →

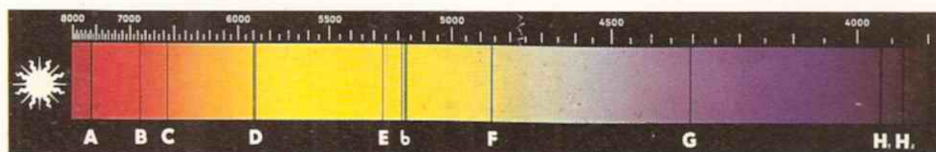
**Análisis espectral** Todas las sustancias, cuando se calientan lo suficiente para excitar los átomos que las forman, emiten una radiación electromagnética. Un átomo excitado emite *radiaciones discretas* en un determinado número de longitudes de onda, que depende del tipo de átomo y de los cambios de nivel energético que se produzcan al calentar el material. De esta forma, cada sustancia emite al ser calentada un conjunto de radiaciones —*espectro de rayas*— que la caracteriza y que por tanto se utiliza para identificar la composición química de tal sustancia.

El estudio de los espectros emitidos por las distintas sustancias se llama *análisis espectral*, y se utiliza para identificar y medir cuantitativamente la composición química de sustancias desconocidas. El análisis espectral fue muy utilizado para obtener información sobre la naturaleza del Sol, de las estrellas y de los planetas.

**Representaciones espectrales** La luz del Sol tiene todas las longitudes de onda de la luz visible y además las correspondientes a los rayos infrarrojos y ultravioletas. Haciendo que la luz del Sol pase por un prisma óptico, las diferentes longitudes de onda que la forman se desvían con distintos ángulos, produciendo un despliegue de todos los colores fundamentales que la componen. Como la luz del Sol tiene todas las longitudes de onda del espectro visible, produce un *espectro continuo*, es decir, no tiene interrupciones en las que falte algún color.

Las distintas fuentes de radiación se pueden identificar no sólo a través del esquema de longitudes de onda presentes, sino también a partir de las longitudes de onda que no están en el espectro, ya que cuando falta una determinada longitud de onda, al separarse los colores, aparece una raya negra. El análisis espectral se realiza con el *espectrómetro*, aparato que deja pasar por una ranura estrecha la luz procedente de una fuente, la separa en sus longitudes de onda componentes y la proyecta en una pantalla, en una placa fotográfica o en otro revelador cualquiera. Cuando el resultado obtenido es una serie de rayas distintas, separadas por las posibles interrupciones de las longitudes de onda que faltan, se denomina *espectro de rayas*.

En cambio, cuando los átomos que forman una determinada sustancia están estrechamente unidos, como sucede en líquidos y sólidos, las rayas se suelen hacer confusas o se superponen unas con otras. Además, las moléculas tienen más niveles energéticos que los átomos, y emiten espectros de rayas con una separa-




ción tan pequeña que más bien parecen varias bandas continuas de color. Este tipo de espectros se llama *espectro de bandas*.

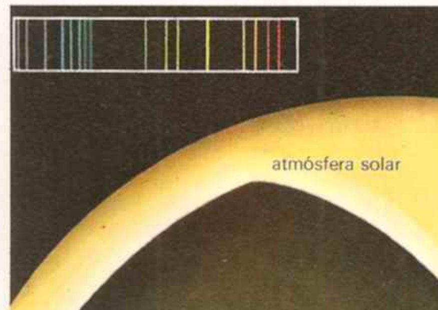
**Tipos de espectros** Existen dos tipos de espectros principales, que se distinguen por su origen. Cuando se calienta una determinada sustancia hasta que los átomos que la componen se convierten en fuentes de radiación, y esta radiación se separa en las longitudes de onda que la componen, la representación que se obtiene se llama *espectro de emisión*.

En cambio, si los átomos de la sustancia no han recibido ninguna excitación, pero se exponen a una radiación externa compuesta por la gama completa de longitudes de onda del espectro, bloquearán, o mejor *absorberán*, algunas de las longitudes de onda: el espectro obtenido de esta manera presentará zonas vacías, que corresponden a las radiaciones absorbidas, y en consecuencia se llama *espectro de absorción*. La sustancia sin excitar absorbe exactamente las longitudes de onda que emitiría si se excitara, y por tanto el espectro de emisión es exactamente el opuesto al espectro de absorción. El espectro de emisión aparece como una tira continua del rojo al violeta, con bandas y rayas intermedias, mientras que el espectro de absorción es una tira de rayas y bandas negras con un fondo en el que aparecen zonas coloreadas que van del rojo al violeta.

→ elementos en la trayectoria de la luz, el espectro de la fotosfera sería continuo (como el de la izquierda del dibujo inferior). Por el contrario, si sólo existiese la atmósfera gaseosa, sin el globo solar que está detrás y además emite luz, el espectro sería el representado bajo estas líneas, es decir, el opuesto al real: unas pocas rayas de colores distintos (las rayas de Fraunhofer) sobre fondo oscuro.

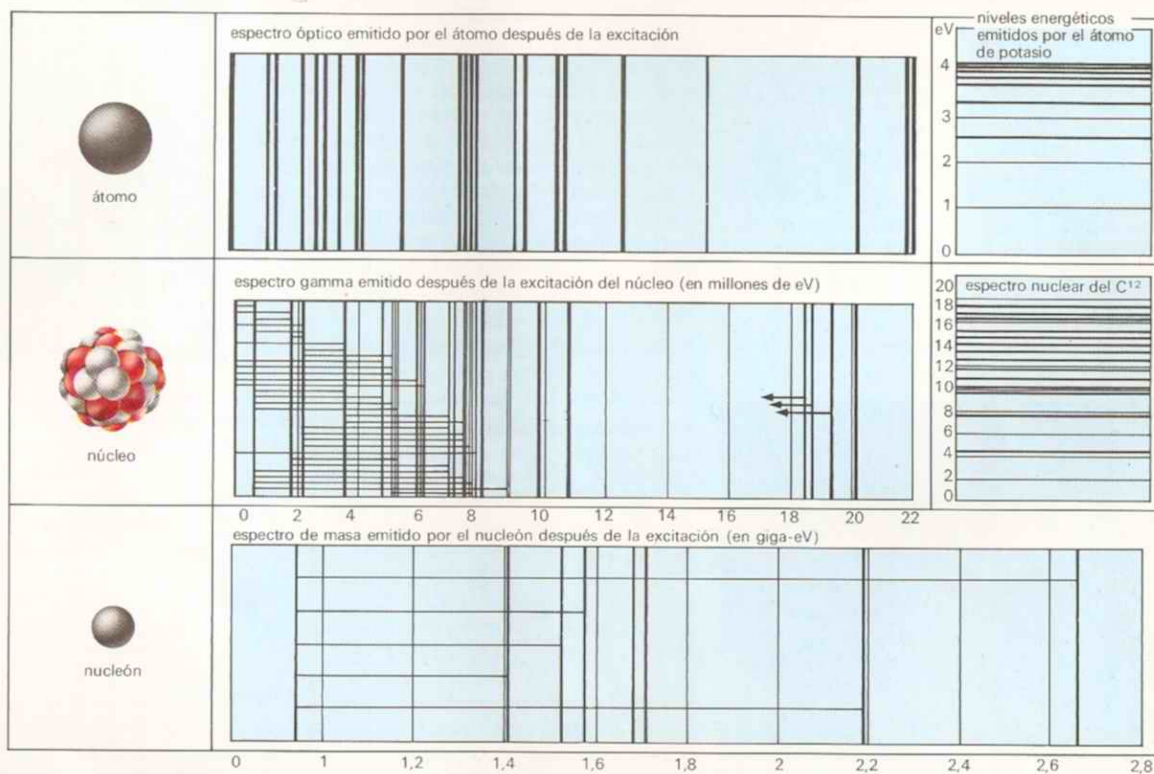
**Espectro mecánico** Está constituido por las ondas mecánicas que se propagan en medios materiales con propiedades elásticas, ya sea gas, líquido o sólido. El conjunto de esta energía radiada, constituida por ondas y vibraciones, suele recibir también el nombre de *espectro acústico*. Cuando las radiaciones mecánicas se propagan en el aire, son detectadas por nuestros órganos auditivos a partir de cierta intensidad mínima (umbral de audición) y dentro de un determinado espectro de frecuencias acústicas. El espectro de ondas audibles para el hombre suele estar comprendido entre 20 ciclos por segundo (con una longitud de onda de 16 m, considerando una velocidad del sonido en el aire de 320 m/s) y 20.000 ciclos por segundo (16 mm de longitud de onda); las radiaciones menores a 20 ciclos por segundo se denominan *infrasonidos* y las superiores a 20.000 ciclos por segundo, *ultrasonidos*.

Véase **Acústica; Color; Electromagnetismo; Espectrofotómetro; Espectroscopia; Infrarrojos, rayos; Luz; Microondas; Movimientos ondulatorios; Rayos X; Ultravioleta, radiación**










La espectroscopia óptica ha demostrado que los átomos pueden almacenar energía en cantidades fijas y discretas (derecha, primera línea). La espectroscopia atómica se ocupa en cambio de las emisiones energéticas de los componentes del átomo. Si se excita el núcleo de un átomo (p. ej., al chocar con otros núcleos), emite radiaciones gamma en la fase de vuelta a la normalidad; las energías que entran en juego son del orden de millones de electrón-voltios (segunda fila). Golpeando un nucleón (protón o neutrón) con fotones de alta energía, se excita, aumenta de masa y se atenúa en un tiempo muy pequeño, emitiendo partículas más simples: la radiación del nucleón excitado (barión) permite conocer sus características.

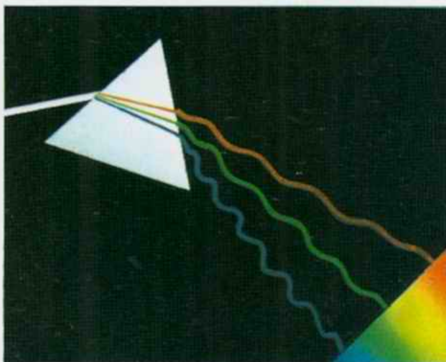
# Espectro estelar

Poco tiempo después de que Isaac Newton y sus discípulos descubrieran que un prisma descomponía la luz blanca en siete colores: violeta, cian, azul, verde, amarillo, naranja y rojo, los científicos se dieron cuenta de que distintas fuentes luminosas producían espectros que eran atravesados por líneas oscuras cuya localización a lo largo de la serie de colores de absorción suministra cierta información sobre la naturaleza de los elementos químicos presentes en la fuente luminosa, tanto si la fuente está representada por algo simple, como en una muestra de laboratorio calentada hasta volverse incandescente, como en el caso del Sol o de una estrella extremadamente lejana.

En 1885, E. C. Pickering, un famoso astrónomo que trabajaba en el Observatorio del Harvard College (EE UU), comenzó a clasificar las estrellas desde el punto de vista espectroscópico. Su trabajo fue continuado por tres brillantes y laboriosas astrónomas: Annie J. Cannon, Maury y Fleming. Cannon llevó a término un importante trabajo de consulta conocido como *The Henry Draper Catalogue*, que daba la clasificación espectral de miles de estrellas (exactamente 225.320 estrellas) observadas en los hemisferios septentrional y meridional. La intensidad de la luminosidad se extendía hasta las estrellas extremadamente débiles de la octava o novena magnitudes. Un tomo añadido, llamado *The Henry Draper Extension*, realizado por otra astrónoma, Mayall, fue publicado posteriormente.

Al principio, las distintas clases eran señaladas con letras en orden alfabético, pero revisiones e incorporaciones de una clase en otra han llevado finalmente al acrónimo OBAFGKMRNS, al que después se le añadió otro grupo llamado *pec* (que significa *peculiar)*.

Los primeros espectros estelares han sido observados mediante espectrógrafos de prisma. Aquí abajo, un prisma que descompone un delgado rayo de luz blanca. En el espectroscopio la observación es casi perfecta y permite distinguir delgadísimas bandas de color que faltan. Las líneas espectrales revelan la presencia de especies atómicas en las estrellas e indican el estado físico en que se encuentran los átomos. Al espectro está ligado estrechamente el color de la estrella: a la derecha, de arriba abajo, Aldebarán, roja; Betelgeuse, roja, y Sirio, blanca-azulada.



Una vez encaminado el proyecto de clasificación, los astrónomos observaron con gran placer que la secuencia desde O hasta M no era sólo una clasificación basada sobre la temperatura superficial, sino que podía servir también como guía cromática (las estrellas B son azules, las A son blancas, las F y G amarillas, las K y M naranjas y rojas).

Lo que sigue es un breve sumario de las principales informaciones suministradas por el sistema de clasificación:

1) Las estrellas van desde las que tienen temperatura superficial más elevada —estrellas O, algunas de las cuales pueden alcanzar la temperatura de 100.000 grados Kelvin (K)— hasta las que tienen temperaturas de unos 3.000 K (K, M, R, N, S).

2) Las líneas del espectro de las clases O y B indican la presencia de importantes cantidades del elemento helio.

3) El hidrógeno es el único elemento que se encuentra en todas las clases; las líneas H son las más fuertes en la clase A.

4) Las líneas que indican la presencia de elementos metálicos (calcio, hierro, manganeso) a elevadas temperaturas se empiezan a encontrar en la clase A y llegan a su concentración máxima en las estrellas G (entre las cuales nuestro Sol es un ejemplo típico).

5) Metales a temperaturas menores aparecen en la clase G y están principalmente representados en la clase M.

6) Las líneas del compuesto químico óxido de titanio predominan en la clase M.

7) El carbono y sus compuestos se encuentran en la clase de estrellas R y N, que son también conocidas como *estrellas de carbono*.

8) Los espectros de las estrellas de clase S revelan la presencia del compuesto químico óxido de circonio.

La tabla incluida en esta página (abajo) recoge los valores de temperatura y color de cada una de las clases espectrales. Analizándola, se puede comprobar que existe una gran diferencia entre la temperatura de B y la de A. Teniendo en cuenta esta diferencia, los astrónomos han introducido otra subdivisión en el interior de cada clase (B0, B1, B2.... B9, por ejemplo, en la que B0 es la más caliente y B9 la más fría).

En los últimos años, los *Catálogos Henry Draper* han sido ampliados por W. W. Morgan, P. C. Keenan y E. Kellman, que han





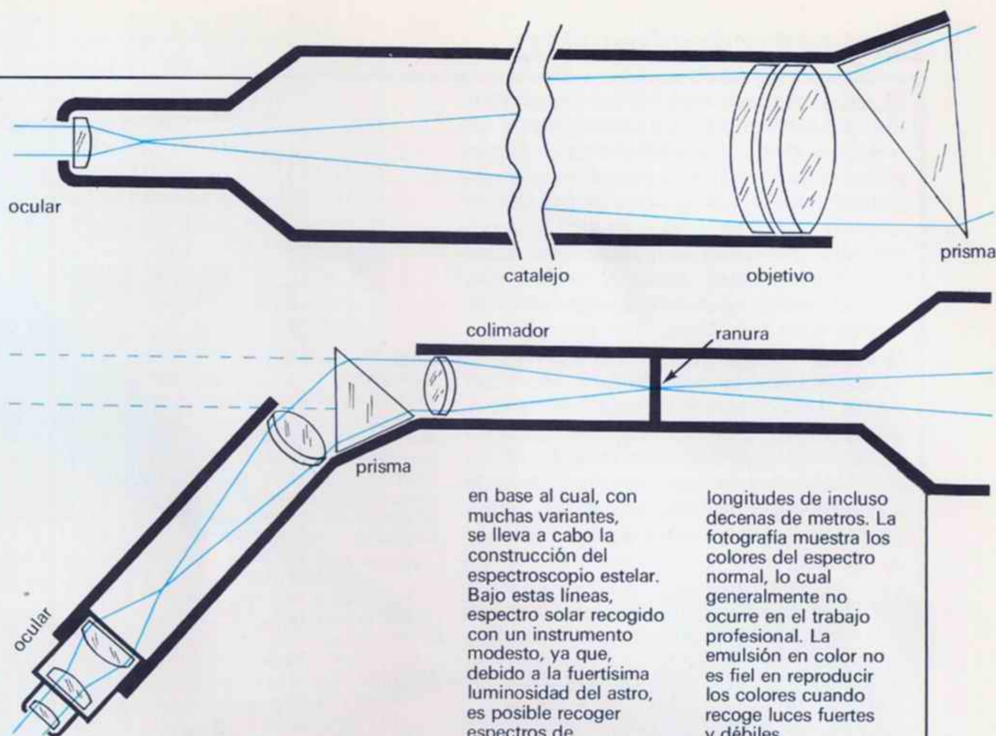


| clases espectrales | temperatura superficial (en grados Kelvin, K) | color |
|---|---|---|
| O | 25.000 | azul intenso |
| B | 23.000 | blanco-azul |
| A | 10.000 | blanco |
| F | 7.000 | blanco-amarillo |
| G | 6.000 | amarillo |
| K | 5.000 | naranja |
| M | 3.200 | |
| R, N, S | menos de 3.000 | rojo |

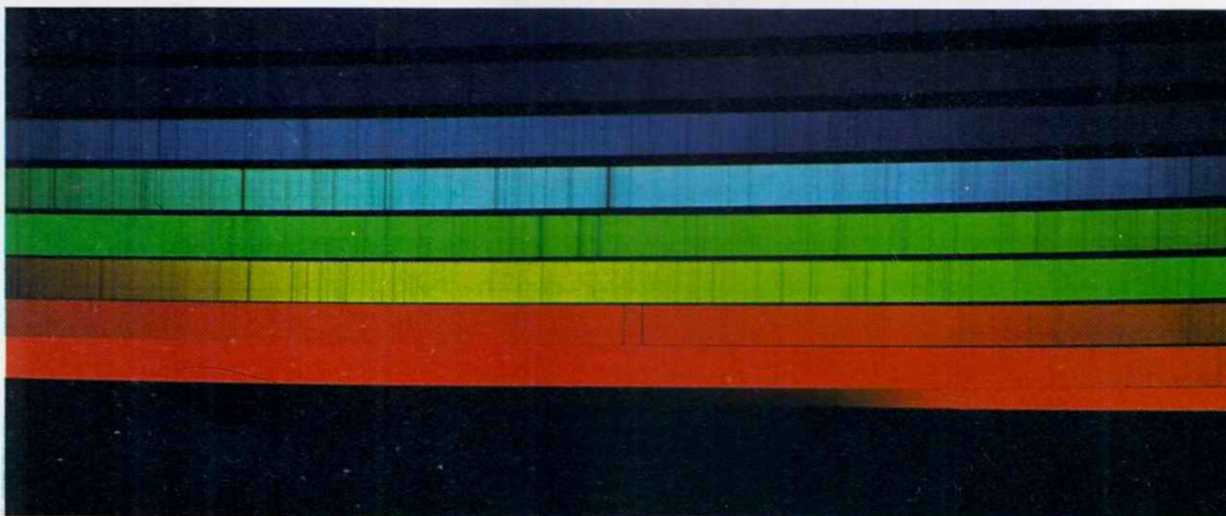
realizado el *Atlas de los Espectros Estelares*, en el que las estrellas aparecen clasificadas en función de su luminosidad:

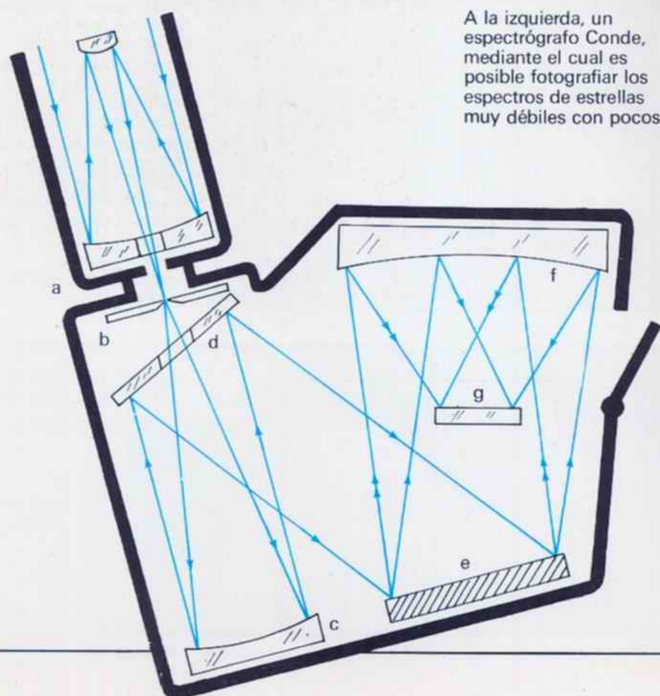
- Ia: supergigantes más luminosas
- Ib: supergigantes menos luminosas
- II: gigantes luminosas
- III: gigantes normales
- IV: subgigantes
- V: enanas

Véase **Diagrama de Hertzsprung-Russel; Espectro; Estrella; Galaxia; Vía Láctea**

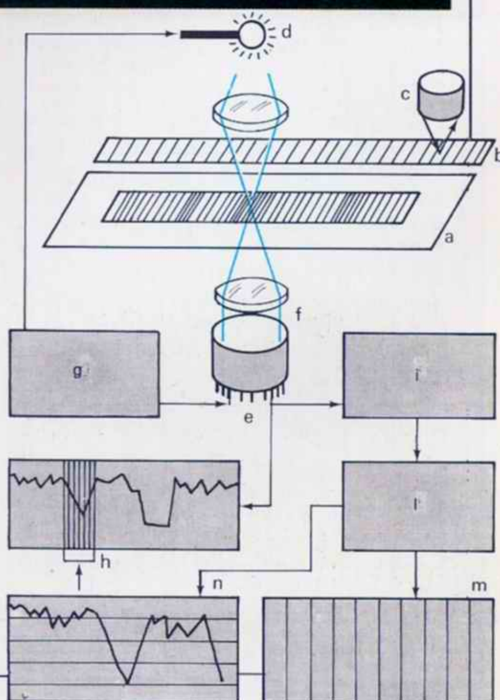



A la derecha, esquema de un espectroscopio para observaciones visuales. Desde la derecha llega la luz y se concentra en la hendidura de entrada del instrumento. Aquí entra en el colimador, donde el objetivo hace que los rayos sigan paralelamente, y la envía al prisma que la descompone. Será recogida por el objetivo del instrumento de observación formando una imagen del espectro, que será observada con el ocular. Arriba, la parte que sirve para la observación visual de los espectros. Estos pequeños esquemas de instrumentos se representan sólo para explicar el principio en base al cual, con muchas variantes, se lleva a cabo la construcción del espectroscopio estelar. Bajo estas líneas, espectro solar recogido con un instrumento modesto, ya que, debido a la fuertísima luminosidad del astro, es posible recoger espectros de longitudes de incluso decenas de metros. La fotografía muestra los colores del espectro normal, lo cual generalmente no ocurre en el trabajo profesional. La emulsión en color no es fiel en reproducir los colores cuando recoge luces fuertes y débiles.



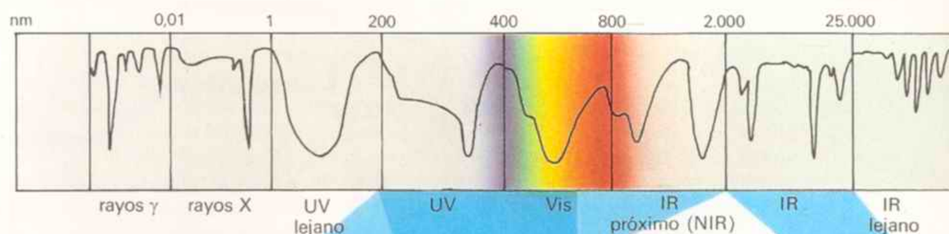



A la izquierda, un espectrógrafo Conde, mediante el cual es posible fotografiar los espectros de estrellas muy débiles con pocos minutos de observación. A la derecha, medidor automático de espectros. El espectro (a), situado sobre el carro de una máquina que lo hace deslizarse bajo un iluminador, es medido con una regla automática (b) observada por un fotómetro (c). A través del espectro se hace pasar la luz de la lámpara (d), que es recogida por el fotómetro (f); (g) es el alimentador. El espectro, que se presenta como se ha indicado en (e), es clasificado en correspondencia de muchos puntos (h), y observado a través de una serie de instrumentos (i) y (l), que envían sus datos a un ordenador que proporciona la reconstrucción del espectro (m) y (n).



# Espectrofotómetro

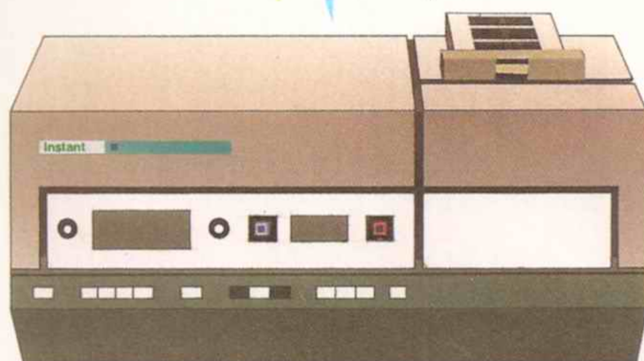
La luz que proviene del Sol, de una lámpara o simplemente de la llama de una vela posee una gran información sobre la naturaleza de la fuente que la origina. En efecto, cualquier sustancia que se caliente suficientemente puede llegar a excitarse de tal forma que emitirá radiaciones electromagnéticas, y estas radiaciones aportan numerosos detalles referentes a su estructura. Esto es debido a que cada sustancia, al calentarse, emite un conjunto individual de radiaciones: dicho de otro modo, cada sustancia tiene su propio espectro. Una fuente que emita unas radiaciones específicas da un espectro, de cuya lectura e interpretación se deduce un mapa de su estructura. Este tipo de espectro se llama *espectro de emisión*.



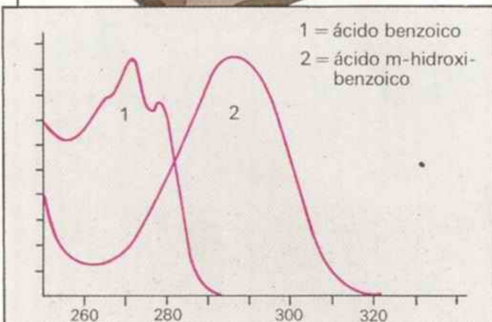

Arriba, un gráfico del espectro electromagnético donde queda delimitado el campo operativo de los tres tipos de espectrofotómetros representados en las fotografías inferiores.



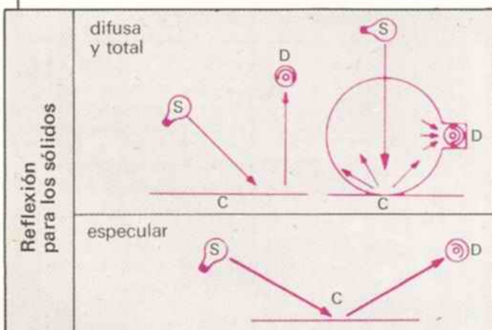
Bajo estas líneas se representa un espectrofluorímetro para el análisis de los espectros de

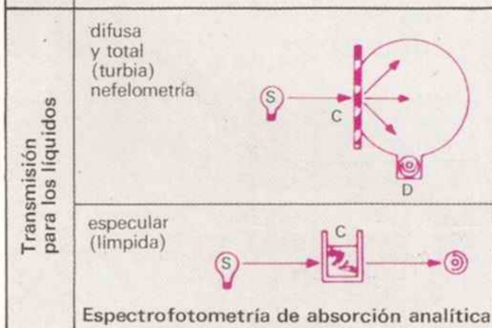


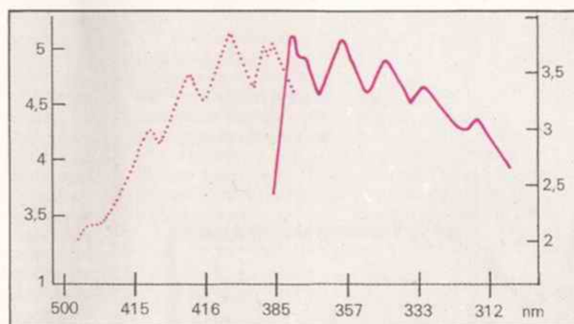

fluorescencia. Sobre la sustancia que se va a examinar se dirige la luz seleccionada por el monocromador $F_1$, ésta emite una radiación de menor frecuencia que pasando por $F_2$ llega al detector D (esquema inferior). En el gráfico del centro, un ejemplo del espectro de absorción y de fluorescencia del antraceno. Esta técnica es muy sensible.

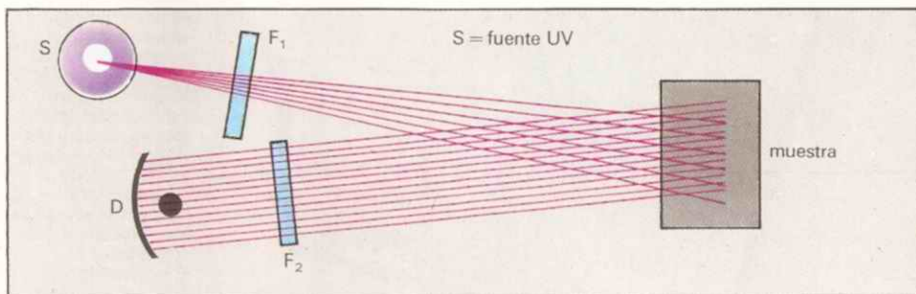


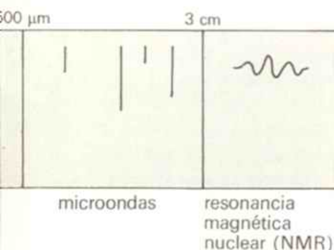

El espectrofotómetro de la izquierda opera desde 190 a 900 nm en ultravioleta y visible (UV/Vis). Debajo, a modo de columna, se muestra un ejemplo de espectro UV y la disposición de la luz incidente S, de la muestra C y del detector C del instrumento, según se trate de reflexión o de absorción.






**LEY DE LA ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION**

Ley de Lambert-Beer: la intensidad de la luz transmitida a través de una solución es inversamente proporcional a la concentración de la sustancia y a la longitud de la cubeta de medida que contiene dicha solución.

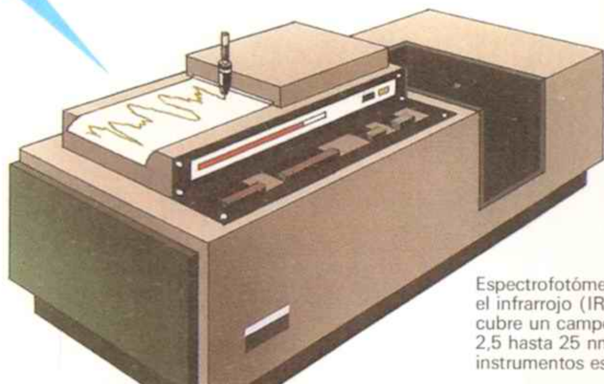
$I = I_0 e^{Kcl}$

$I$ = intensidad de la luz transmitida
$I_0$ = intensidad de la luz incidente
$K$ = coeficiente de extinción molar
$e$ = base del logaritmo neperiano
$c$ = concentración de la sustancia
$l$ = longitud de la cubeta de medida

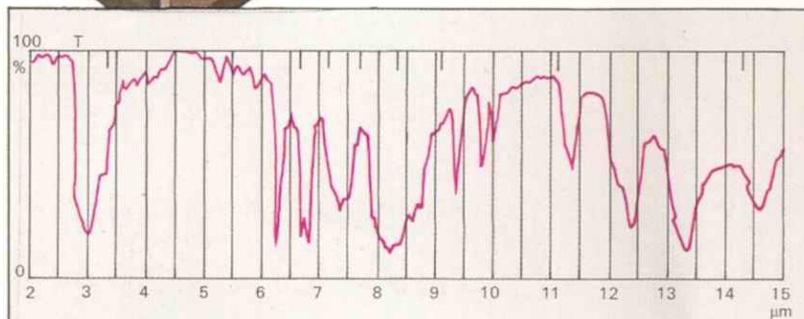
**MAGNITUDES UTILIZADAS EN LA PRACTICA PARA LA ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION**

| | Símbolo | Relación | Unidad de medida |
|---|---|---|---|
| Transmisión | T | I/I | % |
| Absorción, extinción | A, E | $\log_{10} 1/T$ | — |
| Coeficiente de extinción | K | A/l | g/l cm |
| Coeficiente de extinción molar | ε | A/cl | mole/l cm |
| Longitud de onda | λ | — | µm (micron) nm (nanómetro) |
| Número de onda | $cm^{-1}$ | 1/λ | $cm^{-1}$ |
| Longitud de cubeta, recorrido óptico | 1 | — | cm |
| Concentración molar | c | — | moles/l |

En la tabla viene formulada la ley de Lambert-Beer y a la vez se exponen los símbolos y las unidades de medida de las magnitudes utilizadas.



Espectrofotómetro para el infrarrojo (IR), que cubre un campo desde 2,5 hasta 25 nm. Estos instrumentos están equipados con fuentes y detectores especialmente diseñados para el IR. La espectrofotometría IR es un medio esencial para el estudio de la estructura de las sustancias orgánicas, ya que en tal zona del espectro se sitúan las frecuencias de las vibraciones moleculares, muy abundantes en tales compuestos. En el gráfico (bajo estás líneas) se ha representado, como ejemplo, el espectro IR del fenol.




De hecho, cuando una sustancia se somete a una radiación continua, absorbe alguna de las longitudes de onda que ella misma emitiría si se encontrase en estado de excitación. La longitud de onda absorbida es característica de esa sustancia, y el conjunto de ellas se denomina *espectro de absorción*, que es opuesto al espectro de emisión. Se puede estudiar la estructura química de una sustancia analizando la cantidad absorbida —que es una atenuación— de una longitud de onda específica de radiación, o frecuencia. A este método se le conoce como *análisis espectrofotométrico* (o análisis de absorción). Para el examen espectrofotométrico suele utilizarse una gama muy amplia de radiaciones de las longitudes de onda comprendidas desde la parte visible del espectro luminoso hasta la invisible.

**Espectrofotómetro** El instrumento que se usa generalmente para todos los tipos de análisis descritos anteriormente es el espectrofotómetro, que compara al mismo tiempo la intensidad de la luz transmitida a través de la sustancia que se va a examinar con la intensidad del rayo de luz empleado. Para analizar una sustancia, se hace incidir sobre ella un rayo de luz monocromática, es decir, de un solo color (luz a la que corresponde en el espectro una longitud de onda única) y posteriormente se mide la absorción específica que se produce para este color concreto. Esto nos permite deducir la composición química de la sustancia tanto cuantitativa como cualitativamente. En los métodos cuantitativos, para el estudio de una sustancia se utiliza la longitud de onda en la cual la absorción es mayor, determinándose más tarde, con un gráfico de referencia, a qué cantidad de esta sustancia corresponde tal intensidad de absorción.

**Espectro de reflexión** Algunas sustancias son opacas, como por ejemplo los sólidos o las soluciones de alta absorción de radiaciones. En este caso, el espectrofotómetro puede medir la radiación reflejada por la superficie de la sustancia y compararla con la que refleja una muestra no absorbente (blanca). Este método es el que se usa normalmente para comparar los colores de tejidos o de barnices, siendo muy útil tanto para el análisis cualitativo como para el cuantitativo.

**De qué consta un espectrofotómetro** Los componentes principales de un espectrofotómetro son: una fuente de radiación, como por ejemplo una bombilla; un monocromador, es decir, un aparato que separa la luz de la bombilla en sus componentes, de tal forma que sólo una longitud de onda pueda iluminar la sustancia en un momento determinado; un portamuestras que sujeta las sustancias a examinar; un detector (generalmente una célula fotoeléctrica), que mide la cantidad de luz que ha dejado pasar la sustancia y, finalmente, un instrumento de medida, que puede ser un osciloscopio o un galvanómetro conectado también a un registrador.

En el análisis, normalmente se examina la sustancia en varias regiones del espectro, de acuerdo con sus características de absorción y con la precisión que se desee obtener en la medida. No existe ningún espectrofotómetro que pueda realizar medidas en todo el espectro electromagnético; ciertas partes del aparato deberán ser modificadas oportunamente para producir y detectar el campo de radiación más adecuado. Hoy en día se encuentra en el mercado espectrofotómetros de todos los tipos y de todos los precios. En general, se construyen para trabajar en regiones comprendidas entre ultravioleta visible, ultravioleta-infrarrojo próximo e infrarrojo.

**Fotometría con filtro** En determinado tipo de aparatos, el monocromador del espectrofotómetro se sustituye por un filtro óptico, de manera que el rayo de luz se filtre en vez de ser separado en los diferentes colores que lo componen. Un filtro óptico deja pasar una banda de longitudes de onda más ancha que la que dejaría pasar un monocromador, y en general está estudiado de forma que deje pasar el color cuya absorción sea máxima para una determinada sustancia que se quiera analizar. Los fotómetros de filtro son los menos costosos entre los espectrofotómetros, pero si se mide adecuadamente la relación entre la luz filtrada y la luz que pasa a través de la sustancia (o transmisión), es posible conseguir una buena precisión en diversas aplicaciones. Los fotómetros de filtro se emplean generalmente en la zona del espectro correspondiente al visible, pero también existen en el comercio filtros para el infrarrojo y el ultravioleta.

Véase **Análisis clínico; Análisis químico; Célula fotoeléctrica; Espectro; Espectroscopia; Fotomultiplicador; Infrarrojos, rayos; Microanálisis; Osciloscopio y oscilógrafo; Prisma óptico; Ultravioleta, radiación**

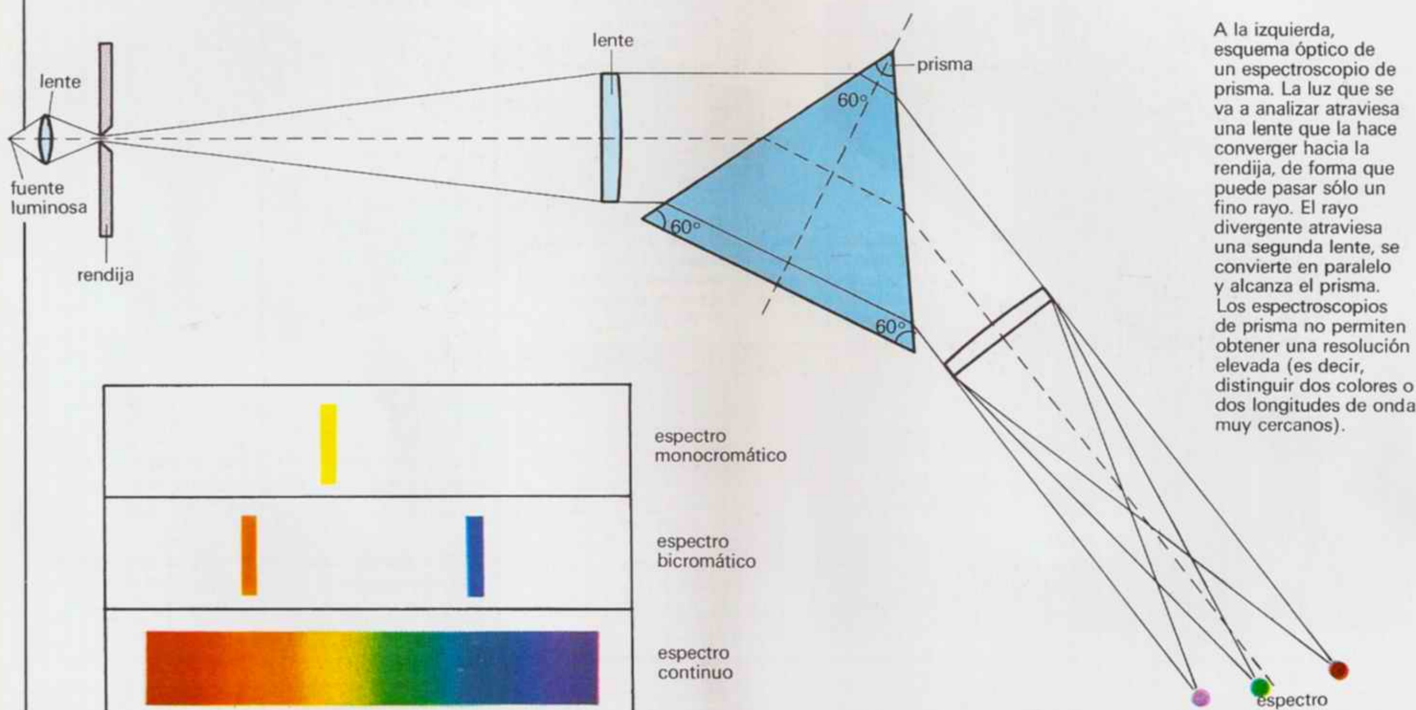
# Espectroscopia

En el año 1666, Isaac Newton hizo que los rayos del Sol atravesaran un prisma triangular de vidrio y observó que éste descomponía la luz en una serie de bandas de color. La secuencia de bandas de color recibió más tarde el nombre de *espectro*, término procedente del latín que significa "fantasma". El descubrimiento de Newton marca el principio de la *Espectroscopia*, que se ocupa del análisis de las radiaciones emitidas o absorbidas por los cuerpos, que es actualmente una de las especilizaciones más importantes de la Química, la Física y la Astronomía.

**El espectro electromagnético** Las radiaciones luminosas que percibimos son ciertos tipos de *ondas electromagnéticas*. Reciben el nombre de *ondas* porque su intensidad aumenta y disminuye periódicamente. Las magnitudes que caracterizan la propagación de todas las ondas (acústicas, electromagnéticas, etc.) son la *amplitud* y la *longitud de onda*, o la *frecuencia*, ya que estas dos últimas características están relacionadas inversamente (cuando una aumenta, la otra disminuye).

Las distintas bandas de color que se obtienen con ayuda de un prisma indican que la luz solar, que vemos como "blanca", está compuesta por varias luces monocromáticas de colores distintos, caracterizadas cada una por una frecuencia (o por una longitud de onda) distinta. La separación en bandas de color se explica considerando que todas las radiaciones luminosas tienen la misma velocidad en el vacío, mientras que en el vidrio viajan a distintas velocidades; como la velocidad está relacionada con la longitud de onda, cada radiación, al atravesar el prisma de vidrio, sufre una desviación característica de la longitud de onda correspondiente, formando el espectro visible.

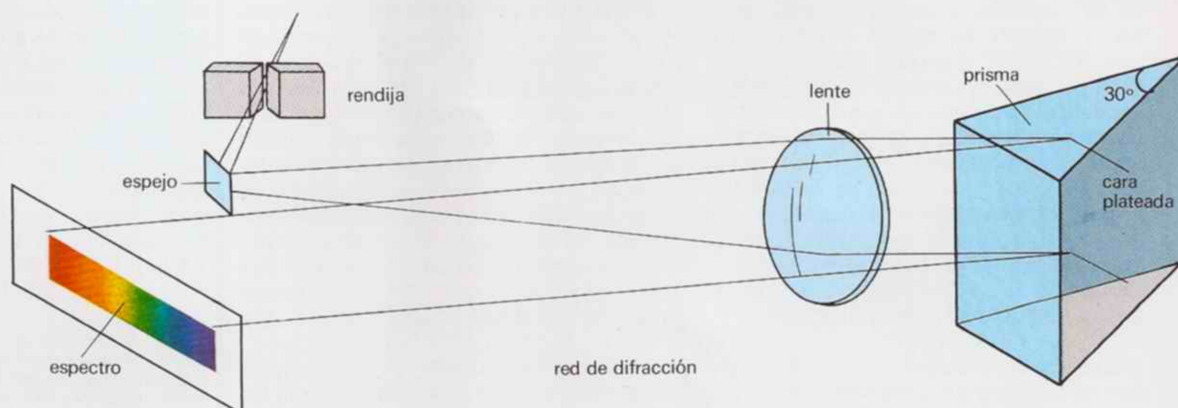
El extremo violeta del espectro corresponde a las longitudes de onda más cortas, mientras que el extremo rojo corresponde a las longitudes de onda más largas. Sin embargo, existen ondas electromagnéticas de longitudes de onda mayores y menores que las correspondientes a las radiaciones visibles. Las ondas más largas van de las radiaciones infrarrojas a las microondas y ondas de radio para uso industrial (telefonía y telegrafía); las ondas más cortas van de las radiaciones ultravioletas a los rayos X y gamma. El conjunto de todos estos tipos de ondas forma el *espectro electromagnético*, del que el espectro visible es una pequeña parte.




A la izquierda, esquema óptico de un espectroscopio de prisma. La luz que se va a analizar atraviesa una lente que la hace converger hacia la rendija, de forma que puede pasar sólo un fino rayo. El rayo divergente atraviesa una segunda lente, se convierte en paralelo y alcanza el prisma. Los espectroscopios de prisma no permiten obtener una resolución elevada (es decir, distinguir dos colores o dos longitudes de onda muy cercanos).

Al atravesar el prisma, el rayo de luz se descompone en varios rayos paralelos, que se dirigen hacia una tercera lente que los hace converger. En el ocular del espectroscopio se forman varias líneas verticales de colores distintos, dependiendo del tipo de luz de la fuente. Cuando la luz esmitida es blanca, se forman infinitas rayas, es decir, se obtendrá una banda continua con todos los colores difuminados desde el rojo al violeta.

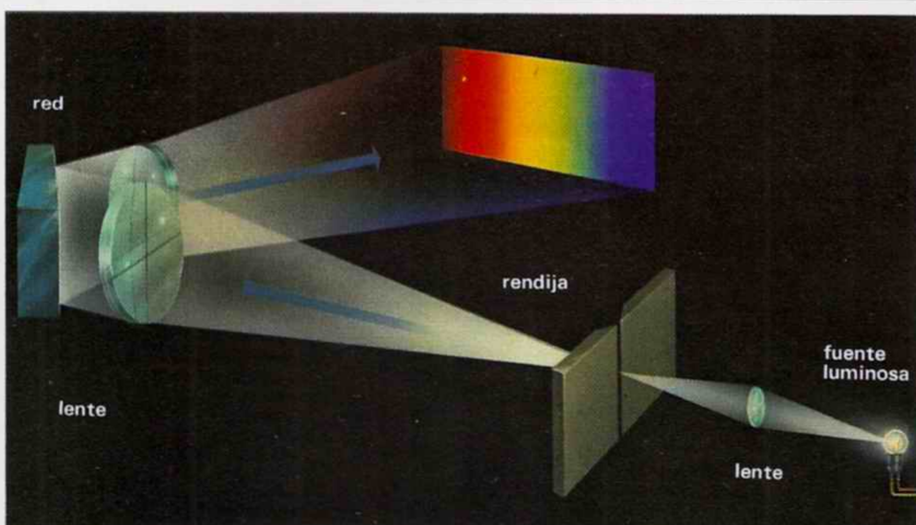
En muchos espectroscopios, para poder reducir sus dimensiones y su coste, se modifica la situación del sistema óptico tal como se indica en el esquema de la derecha. En este caso se habla de *autocolimación*. El rayo de luz, después de atravesar la rendija, se refleja en un espejo, atraviesa una vez la única lente del sistema y llega al prisma (de 30°). La superficie plateada del prisma refleja el haz dispersado, que vuelve a atravesar la lente y forma el espectro. Con esta disposición se puede construir un instrumento cuya longitud es la mitad de la del espectroscopio ordinario.

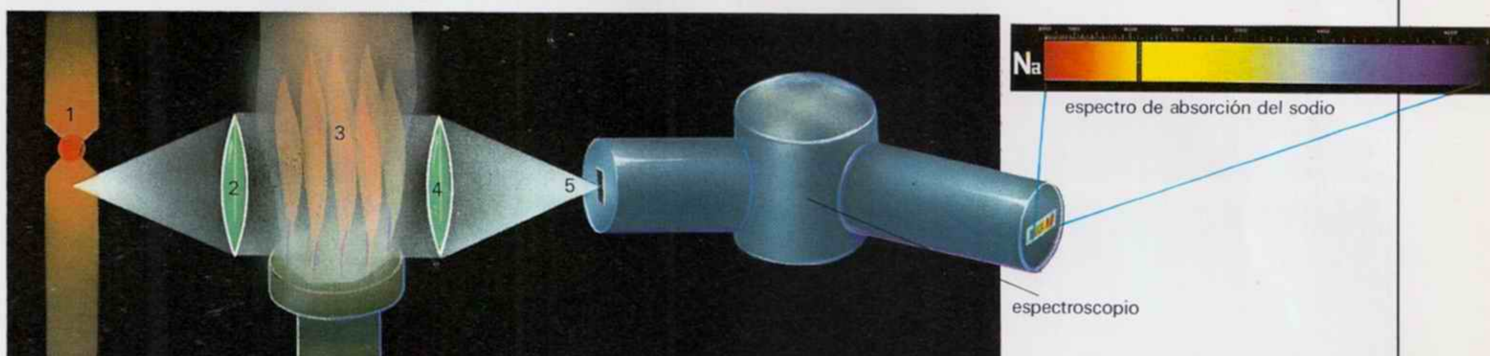


**Rayas espectrales** Para el estudio del espectro electromagnético se construyeron unos instrumentos especializados, llamados *espectroscopios*.

Se descubrió que al calentar cualquier elemento químico en estado gaseoso, éste emite unas radiaciones luminosas que le caracterizan, con unas longitudes de onda específicas, y que aparecen en los espectroscopios en forma de finas rayas, llamadas *líneas espectrales*, en vez de hacerlo como un *espectro continuo*, como sucede en el caso de sólidos y líquidos incandescentes. Cada elemento químico emite una serie de líneas espectrales que le caracterizan.

A mediados del siglo pasado, los físicos alemanes Wilhelm Bunsen y Gustav Kirchhoff realizaron un estudio sistemático de las líneas espectrales de los elementos químicos y durante este trabajo descubrieron varios elementos nuevos, entre los que estaban el cesio y el rubidio.




El espectroscopio de red representado arriba se distingue del de prisma sólo por la existencia de una red de difracción que sustituye al prisma. Debajo, el experimento de Kirchhoff demuestra que una determinada sustancia puede absorber las mismas radiaciones que es capaz de emitir. La luz de un arco voltaico incandescente (1) pasa a través de la primera lente (2), que hace que el rayo sea paralelo; después el rayo atraviesa la llama de sodio (3) y la segunda lente (4) le hace converger hacia la rendija de un espectroscopio (5): en la pantalla aparece un espectro continuo con rayas negras que corresponden al amarillo del sodio. Estas interrupciones se deben a la absorción de las radiaciones que caracterizan al sodio.

El estudio por separado de este tipo de "huellas digitales" electromagnéticas de los elementos proporcionó un potente medio para identificar las sustancias compuestas y también reveló a los científicos una gran cantidad de información sobre la estructura del Universo, que hasta entonces era desconocida. El estudio de las longitudes de onda de las líneas espectrales permitió que el físico danés Niels Bohr dedujera la estructura efectiva de las órbitas de los electrones en el interior de los átomos.

Los químicos utilizaron el espectroscopio en la zona de infrarrojos para estudiar la estructura de las moléculas. Los astrónomos dirigieron los espectroscopios hacia la luz del Sol y de otras muchas estrellas para investigar la composición de los astros, y descubrieron que en el espectro luminoso continuo emitido por el Sol había interrupciones formadas por rayas estrechas: estos intervalos se debían a elementos presentes en la atmósfera solar que absorbían la luz de ciertas frecuencias características. De esta forma los científicos empezaron a distinguir los *espectros de emisión* (es decir, los formados por las líneas emitidas por cada elemento) de los *espectros de absorción* (o sea, aquellos que presentan vacíos que corresponden a sustancias que se encuentran entre la fuente de luz y el observador, y que absorben las líneas que faltan) En 1868, gracias al espectroscopio, se descubrió un elemento nuevo presente en la atmósfera del Sol, el helio.

Al examinar el espectro de las estrellas de las galaxias más lejanas, los astrónomos hicieron un descubrimiento todavía más sorprendente: todas las líneas conocidas de los distintos elementos que componen una estrella estaban presentes en todos los espectros, pero estaban desplazadas hacia el extremo rojo. La explicación que parece más verosímil para este corrimiento hacia el rojo es la expansión del Universo: cada una de las galaxias se aleja de las demás, lo que se manifiesta en el alargamiento de la longitud de onda de la luz emitida.

**Espectroscopia de las partículas elementales** En este siglo se ha descubierto que todas las partículas —como los electrones, protones y neutrones— se comportan como si tuviesen longitudes de onda análogas a las de las ondas luminosas. Como los espectroscopios habían sido tan útiles en el estudio de la luz, se intentó construir unos nuevos adaptados al estudio de estas partículas. Uno de los grandes resultados de la Espectroscopia neutrónica ha sido el permitir la deducción de la estructura de grandes moléculas, como las del ADN y ARN.

La frecuencia de una radiación electromagnética está estrechamente relacionada con la energía emitida por el átomo o la molécula que produce la radiación: cuanto más elevada es la energía, más alta es la frecuencia y menor es la longitud de onda. Por eso, el término *Espectroscopia* se ha relacionado también con el estudio de la energía existente en los "estados" que producen la radiación: por ejemplo, el estudio de los niveles energéticos de los núcleos atómicos se llama *Espectroscopia nuclear*. El estudio de las partículas elementales está subdividido en *Espectroscopia del barión* y *Espectroscopia del mesón*, y actualmente los espectrómetros de partículas elementales están presentes en la mayor parte de los laboratorios de Física bien equipados.

Véase **Color; Electromagnetismo; Espectro; Espectrofotómetro; Infrarrojos, rayos; Luz; Microondas; Movimientos ondulatorios; Rayos X; Ultravioleta, radiación**

# Espora y esporogénesis

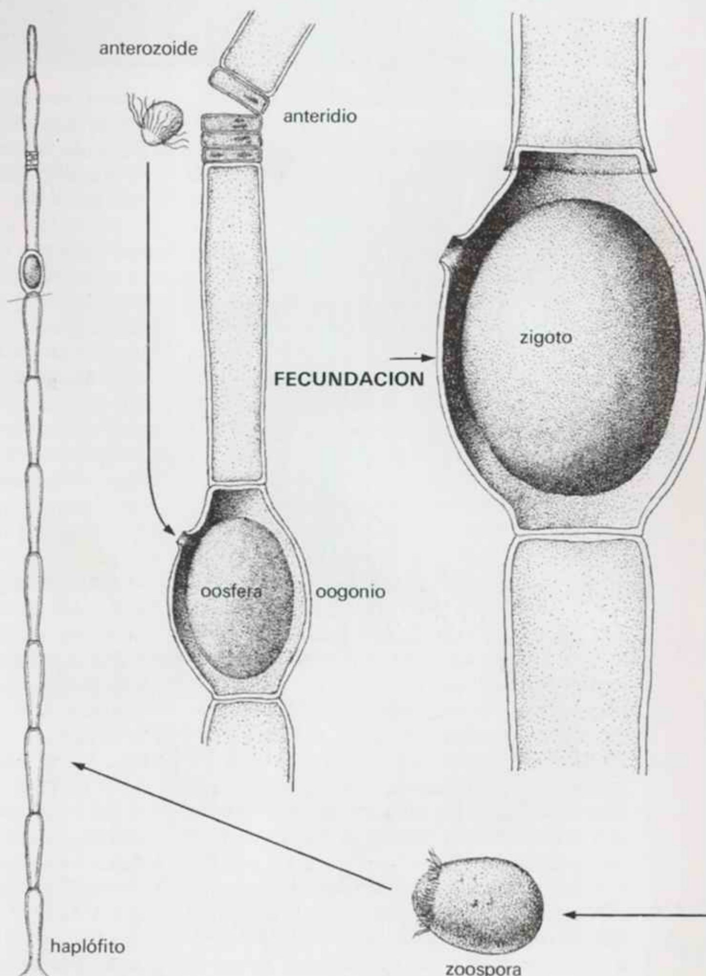
El polvillo coloreado que, cuando cogemos un hongo, vemos caer desde la parte inferior del sombrerillo está constituido por minúsculos elementos llamados *esporas*, a partir de cada una de las cuales puede llegar a originarse, al cabo de un tiempo, otro hongo de la misma especie, mediante un proceso de desarrollo que se inicia con la germinación de la espora.

**Funciones de las esporas** Las esporas sirven como medio de propagación de la especie y para resistir las condiciones ambientales adversas. Una espora típica está formada por una masa de protoplasma que contiene el núcleo celular y que está rodeada y protegida por una fuerte pared celular. Estas esporas quiescentes pueden resistir condiciones extremas de temperatura, humedad y radiación; algunas son tan resistentes que pueden atravesar, sin ser destruidas, el intestino de los animales que las ingieran. Las esporas quiescentes pueden conservar su vitalidad durante años, incluso siglos; cuando las condiciones ambientales mejoran o la espora es desplazada a un ambiente favorable, la espora pasa a una forma activa, adelgazando y ablandándose la pared celular para permitir la germinación.

Algunos organismos producen cantidades enormes de esporas que, diseminadas por medio del aire, del agua o de animales que las ingieren o transportan externamente, sirven a la propagación, rápida y amplia, de la especie.

Las esporas son un estadio importante del ciclo reproductor de algas, hongos y plantas superiores; sirven de medio de supervivencia en condiciones adversas en muchas bacterias, y representan uno de los estadios del complejo ciclo vital de ciertos protozoos (esporozoos). La especie *Monocystis lumbrici* es un representante típico del grupo de los esporozoos. Sus esporas son ingeridas por las lombrices comunes de tierra; una vez en el tubo digestivo del animal, se deshacen las paredes celulares de las esporas y se liberan *esporozoítos* o esporas activas. Los esporozoítos alcanzan los testículos de la lombriz, donde se instalan y alimentan a expensas de las células espermáticas, convirtiéndose en *trofozoítos*. Las células espermáticas, parasitadas por los trofozoítos, empiezan a arrugarse hasta convertirse en unos delgados filamentos que se adhieren a la pared de los trofozoítos. Estos filamentos, parecidos a cilios, son usados por el trofozoíto como medio de locomoción en su emigración hacia la vesícula seminal. Una vez allí, se unen dos trofozoítos y forman un quiste, para, a continuación, dividirse cada uno, formando muchos gametos. Cada gameto producido por un trofozoíto se une con otro gameto, formado por el otro trofozoíto, y de esa unión se forman esporas, algunas de las cuales se dividen, dando células-hijas que invaden los tejidos de la lombriz, mientras que otras son expulsadas y pueden ser ingeridas por otro anfitrión, repitiéndose el ciclo.

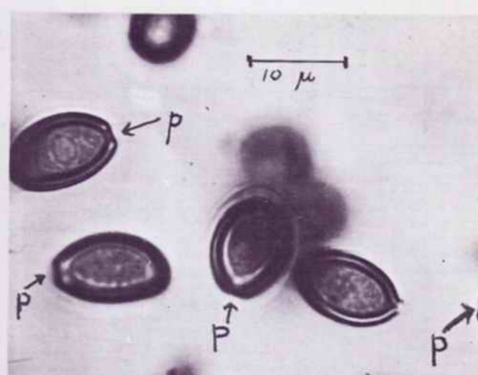




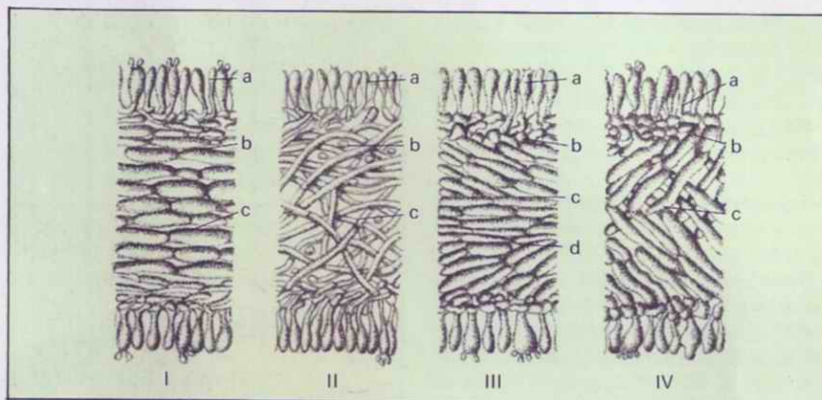

En la foto superior: *Clostrydium pectinorum*, una bacteria cuyas esporas, como en el caso de otras muchas especies bacterianas, resisten condiciones muy desfavorables, facilitando así la propagación de la especie. A la derecha, un esquema del ciclo biológico del alga *Oedogonium*. Las células, todas haploides, se dividen por mitosis y acaban por formar unas estructuras reproductoras, llamadas *gametangios*, femeninas o masculinas, que dan lugar respectivamente a oosferas inmóviles y gametos masculinos móviles. La fecundación del gameto femenino por el masculino origina un zigoto, que representa la fase diploide (2n) del ciclo. El zigoto, al dividirse por meiosis, forma zoósporas móviles haploides, cuyo contenido nuclear es de *n* cromosomas. Las zoosporas acaban por perder los cilios y comienzan a multiplicarse hasta dar un nuevo filamento de *Oedogonium*. Esta alga verde es un ejemplo típico de organismo haplonte, en los cuales la meiosis, llamada *zigótica*, forma esporas en lugar de gametos.

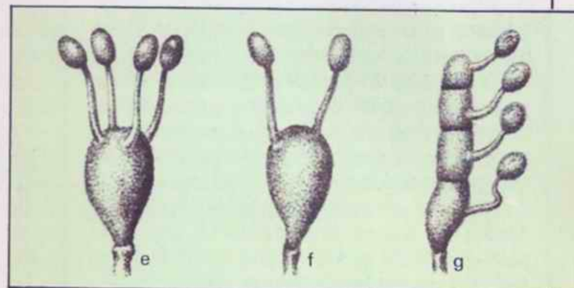
**Esporogénesis** La esporogénesis es el proceso de producción de nuevas esporas y conviene estudiarlo como una fase más del ciclo reproductor de la especie de que se trate. Según la clase de división celular de la que procedan, se distinguen dos tipos de esporas: las *mitosporas* y las *meiosporas*. Las mitosporas se originan de la división por mitosis —proceso en el que, como se sabe, se conserva invariable el número de cromosomas entre la célula-madre y las células-hijas— de una célula progenitora preexistente que, en ocasiones, puede ser ella misma una espora. Al originarse por mitosis, las

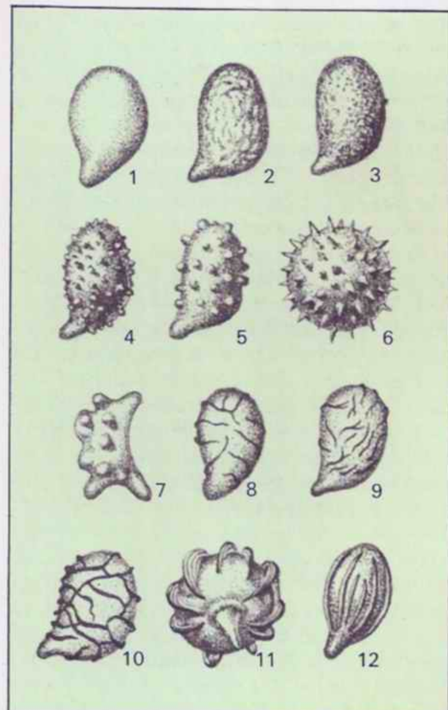





Las esporas se pueden recoger fácilmente del cuerpo fructífero de un hongo haciéndolas caer en una hoja de papel; a continuación podemos depositarlas en un portaobjetos para observarlas al microscopio. A la derecha, una microfotografía de *Stropharia ferri*, en la que se puede ver el poro germinativo. En las secciones transversales de laminillas se evidencian varias capas: la más externa (a) es fértil y se llama *himenio*; la que está debajo (b) es el *subhimenio*, debajo del cual encontramos la *trama* (c) y, si la trama está dirigida hacia ambas caras de la laminilla, el *mediostrato* (d). Según su tipo de trama, la laminilla puede ser: regular (I), confusa (II), bilateral (III) e invertida (IV). El himenio está formado por muchas células claviformes (basidios), que, según el número de esporas que sostienen, pueden ser: tetraspóricos (e), con cuatro esporas; bispóricos (f), con dos esporas; y segmentados (g). Las paredes de las esporas pueden ser: lisas (1), rugosas (2), granulosas (3), pustulosas (4), verrucosas (5), erizadas (6), tuberculadas (7), catenuladas (8), crestadas (9), reticuladas (10), aladas (11) y crestoladas (12).




MITOSIS

liberación del zigoto (2n)

MEIOSIS

liberación de las zoosporas

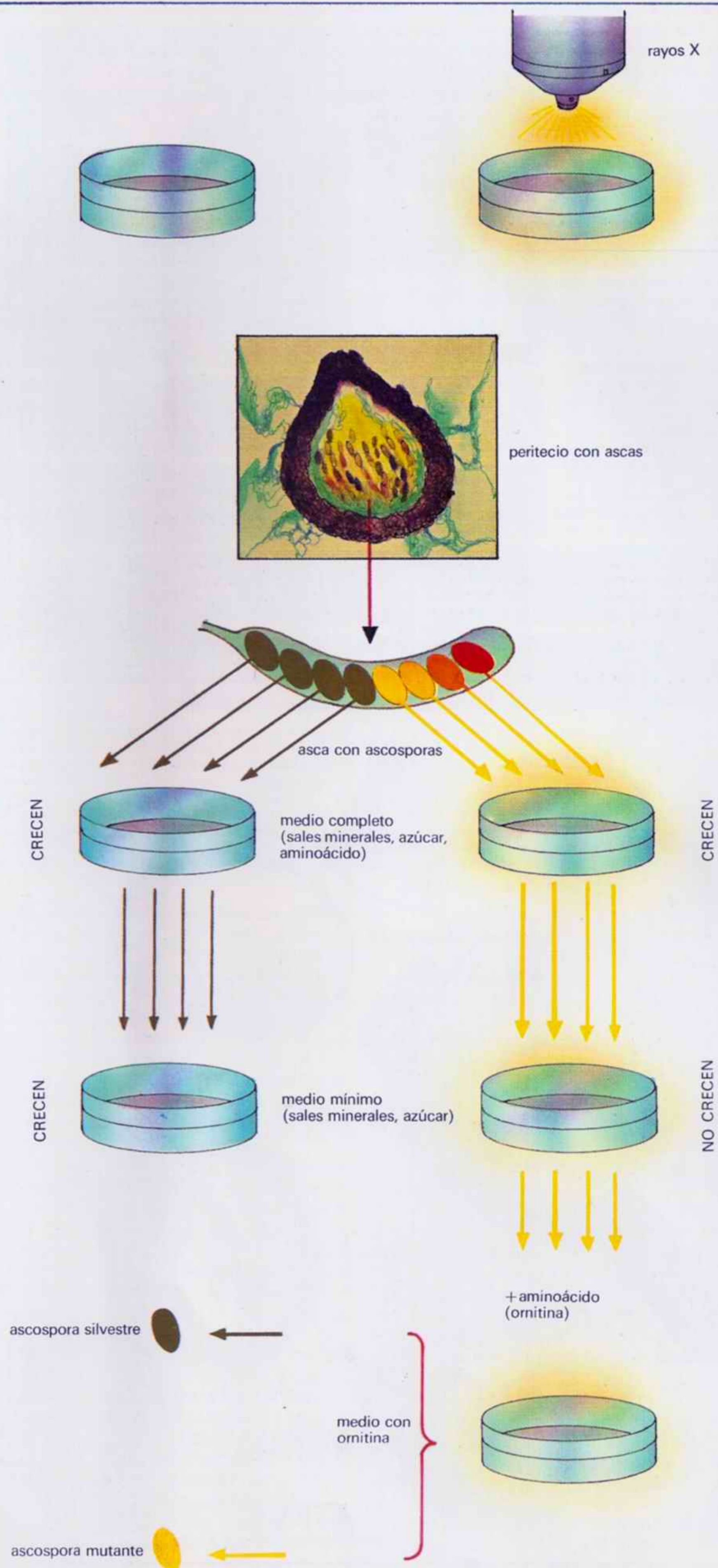
mitosporas pueden ser haploides o diploides, según lo fuera la célula-madre correspondiente.

Las meiosporas se originan por la división meiótica —proceso en el que las células-hija reciben tan sólo la mitad del número de cromosomas de la célula-madre— de una célula preexistente. Las meiosporas son necesariamente haploides, y las células que las originan, diploides. Puesto que en el ciclo reproductor de toda especie con meiosis debe presentarse, antes o después, un suceso de fecundación, o unión de dos gametos haploides para dar un zigoto diploide, para recuperar el número diploide de cromosomas de la especie, se comprende que las meiosporas son una fase del ciclo sexual de la especie; en cambio, las mitosporas se presentan tanto en organismos con reproducción sexual como en otros cuya reproducción es asexual.

**El ciclo reproductor de las plantas** Las plantas o metafitos aparecieron sobre el planeta hace sólo unos 350 millones de años (mucho más tarde que los metazoos o animales) y constituyen, por tanto, la rama principal más moderna de los seres vivos. Las plantas son organismos pluricelulares, cuyas estructuras reproductoras están formadas por tejidos, que poseen desarrollo embrionario verdadero y son fotosintéticas e inmóviles. Las algas y los hongos no son plantas.

El ciclo biológico de las plantas comprende siempre dos generaciones adultas distintas y sucesivas: una generación, el *gametofito*, consta de individuos haploides que producen las células sexuales o gametos; la otra generación, el *esporofito*, consta de individuos diploides que empiezan su vida como óvulos fecundados y que producen meiosporas que originan nuevos gametofitos. Según la generación que constituya la planta "principal", los metafitos se dividen en *Briofitas*, que comprenden los musgos y las hepáticas, y *Traqueofitas* o plantas vasculares, grupo al que pertenecen los licopodios, los helechos y las plantas con semilla. En las Briofitas predomina la fase gametofítica, mientras que en las Traqueofitas predomina, en cambio, la fase esporofítica.

En las Briofitas los órganos productores de los espermatozoides se llaman *anteridios*, y los productores de óvulos, *arquegonios*. Muchas Briofitas son hermafroditas, otras presentan sexos separados. En cualquier caso, los órganos sexuales forman parte del individuo adulto gametofito. El arquegonio es un órgano en forma de botella de cuello estrecho, en cuyo vientre está el óvulo. El espermatozoide alcanza el óvulo a través del cuello del arquegonio y lo fecunda para dar el esporofito, el cual permanece siempre unido al gametofito, del cual depende para alimentarse. El esporofito acaba por desarrollar un *esporangio*, cuyas células internas experimentan la meiosis y dan esporas haploides que, al liberarse y germinar, cierran el ciclo.



Las plantas vasculares se clasifican en *homosporas* y *heterosporas*, según que formen esporas de tamaño uniforme o den dos clases de esporas, unas grandes o *macrosporas* y otras más pequeñas o *microsporas*.

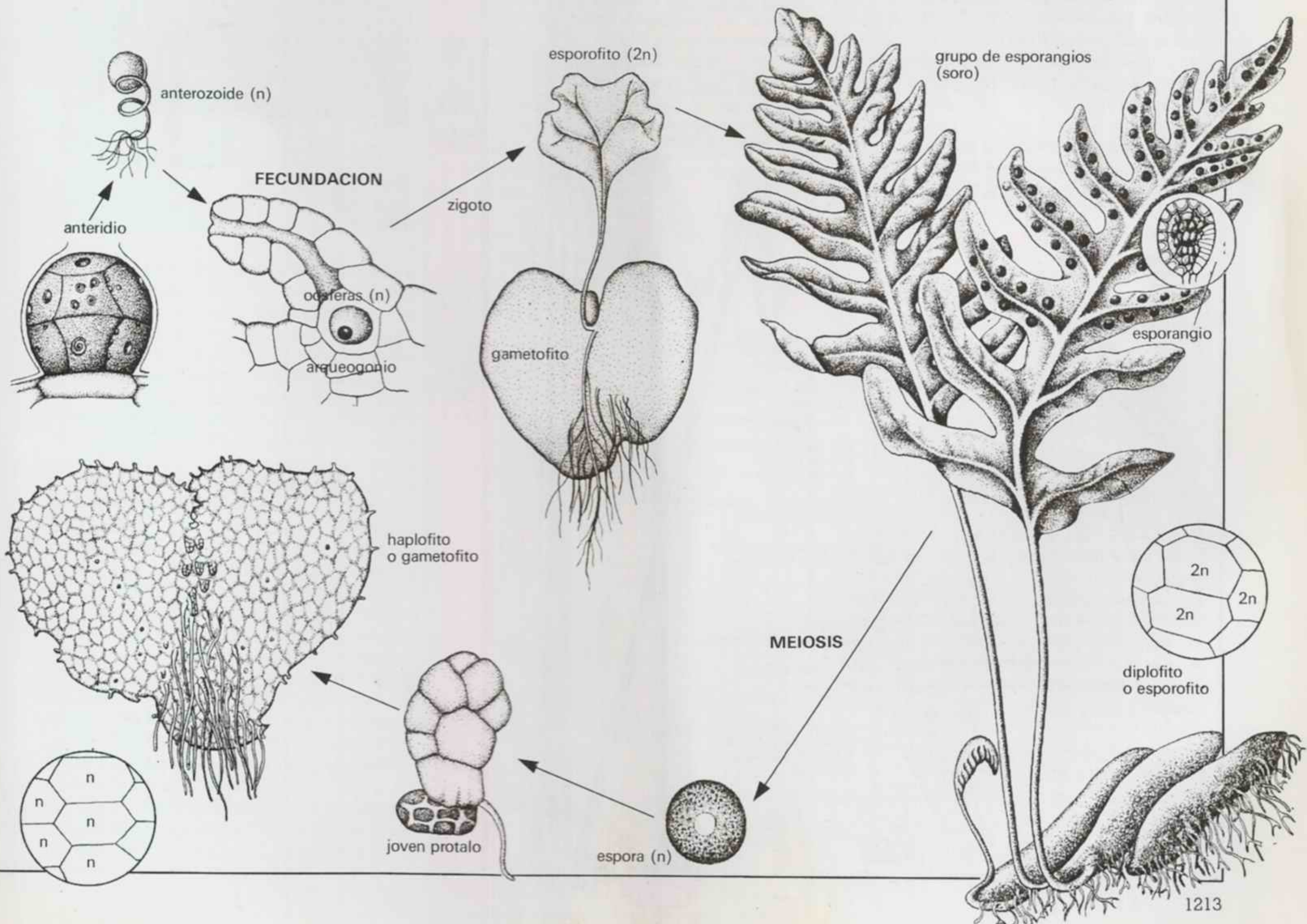
Las plantas vasculares sin semilla, es decir, los psilópsidos, licopodios, equisetos y helechos, son homosporas, con la notable excepción del *Selaginella*, un licopodio vivo, y algunos otros licopodios fósiles. Las plantas con semilla —gimnospermas y angiospermas— son, por el contrario, heterosporas.

En las plantas homosporas es imposible predecir si una espora determinada formará un gametofito masculino o uno femenino, si la especie es de sexos separados. En las plantas heterosporas la macrospora origina el gametofito femenino, y la microspora, el masculino. En el *Selaginella* los gametofitos carecen de clorofila, dependiendo para su alimentación del esporofito que los formó (caso inverso al de los musgos). Por ello empiezan su desarrollo dentro del esporangio y sólo cuando han alcanzado la madurez caen al suelo, donde formarán los gametos que al unirse crearán los nuevos esporofitos.

El ciclo biológico de las plantas con semilla empieza con esporofitos diploides que desarrollan dos tipos de esporangios: *microesporangios* y *macrosporangios*. En algunas especies ambos tipos de esporangios van sobre la misma planta (especies monoicas de individuos bisexuales) y en otras especies unas plantas llevan sólo microsporangios y otras sólo macrosporangios (especies dioicas). Las células internas de los esporangios dan por meiosis las microesporas y macrosporas respectivamente. La microspora germina para producir un gametofito minúsculo masculino, que permanece encerrado en la pared de la espora: es el grano de polen. El microsporangio suele ser llamado *antera*; el macrosporangio también recibe los nombres de *primordio* o *rudimento seminal* u *ovario*. La macrospora germina para dar un gametofito femenino muy pequeño, que queda retenido en el ovario, y que forma un gameto femenino u óvulo. El grano de polen —gametofito masculino— emite un tubo polínico en cuyo extremo van unos núcleos espermáticos o gametos masculinos; el tubo polínico alcanza el ovario y el núcleo espermático fecunda el óvulo, produciéndose un zigoto diploide que inicia su desarrollo en el mismo ovario. El embrión —que proviene del óvulo fecundado—, el resto del gametofito femenino, la pared de la macrospora y los tejidos circundantes del ovario constituyen la semilla. En condiciones favorables, la semilla dará un nuevo esporofito adulto. Como se ve, la generación gametofítica de las plantas con semilla se ha reducido al máximo, dando la apariencia de que el ciclo se reduce a la alternancia de semillas y esporofitos.

Véase **Cromosoma; Reproducción**

Irradiando esporas del hongo *Neurospora* (página anterior) pueden obtenerse mutantes, que diferirán del tipo silvestre en algún carácter—por ejemplo, la capacidad de sintetizar cierto aminoácido—controlado genéticamente. Si se cruza una estirpe mutante con otra silvestre, se forman peritecios que contienen ascas, cada una con 8 ascosporas, 4 de tipo silvestre y 4 de tipo mutante. Si se siembran en medio completo, las ocho crecerán para dar micelios, mientras que en medio mínimo las esporas silvestres darán micelios, pero las mutantes (de otro color) no crecerán por faltarles el aminoácido que no pueden sintetizar. Aquí abajo, ciclo biológico del helecho *Polypodium*, típicamente haplo-diplonte, en el que la alternancia de generaciones resulta fácil de observar: la planta que vemos consta de células diploides (esporofito), mientras que las vesículas que hay en el envés de las hojas constan de células haploides (gametofito).

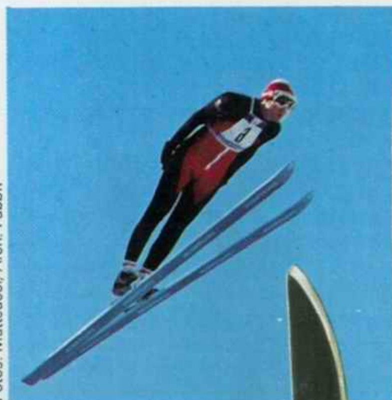


# Esquí

El esquí no es solamente un deporte; en algunas regiones, sobre todo en Escandinavia y en las regiones alpinas de Europa Central, el esquí ha sido durante más de 5.000 años un importante medio de transporte. Efectivamente, restos de esquís encontrados en los pantanos suecos y finlandeses parecen remontarse a hace unos 5.000 años; además, una ilustración rupestre noruega, que se remonta a casi 2.000 años antes de Cristo, representa claramente a dos personas que marchan con esquís.

El esquí alcanzó una cierta importancia como disciplina deportiva en la segunda mitad del siglo pasado. La primera competición importante, que incluía también la especialidad del salto de trampolín, tuvo lugar en Noruega, en 1879. A partir de 1924, las competiciones en las varias disciplinas del esquí se han convertido en el componente más importante de los Juegos Olímpicos de Invierno. Tras la II Guerra Mundial se produjo una revolución en el deporte del esquí; no sólo en el número de participantes, sino también en la técnica.

Suiza, con su red ferroviaria alpina y con las instalaciones de arrastre por cable, se convirtió en el lugar ideal para el desarrollo el esquí de descenso a principios del siglo XX. Después, este deporte se ha difundido por muchas partes del mundo. Las instalaciones de nieve artificial han contribuido a difundir el esquí deportivo incluso en las localidades en las que las nevadas naturales son claramente insuficientes.


Fotos: Matteucci, Arch. Fabbri






Abajo, las secciones transversales de dos tipos de esquí. El primero, en láminas, está reforzado con fibras de vidrio y con un núcleo de poliuretano; el segundo es de caja de torsión, obtenida enrollando sobre un núcleo de madera o de espuma tiras de vidrio impregnadas de resinas epoxídicas. Arriba, un esquiador en "vuelo" durante una competición de salto de trampolín; a la derecha, esquiadora en una competición de fondo. Aquí al lado, la ilustración muestra un esquí de fondo (el más pequeño), un esquí para descenso libre, con sus respectivas ataduras, y un par de bastones.

**Técnicas en el deporte del esquí** Hay cuatro tipos distintos de disciplinas de esquí: el *descenso libre;* el *slalom* (especial y gigante), descenso a lo largo de un recorrido con un acentuado desnivel y marcado por "puertas" o palos que tiene que pasar obligatoriamente el esquiador; el *salto* desde un trampolín, donde la puntuación se obtiene a través del baremo de estilo y del de longitud; y el *fondo.*

Las dos primeras especialidades pertenecen a la categoría de las disciplinas alpinas, mientras que las otras dos forman parte del esquí nórdico. Algunas de las técnicas fundamentales de maniobra en esquí son: el *cristiania,* que se efectúa haciendo inclinar los esquís lateralmente, pegándolos a la pendiente y alejándolos lateralmente del cuerpo; la *diagonal,* que consiste en mantener los esquís juntos y paralelos entre sí, describiendo una trayectoria diagonal respecto al desarrollo de la pista de descenso; el *stern,* que consiste en hacer rodar alternativamente a la derecha y a la izquierda la dirección de los esquís respecto a la trayectoria, llevando alternativamente el peso del cuerpo de un esquí a otro; la *inversión,* que se efectúa desde la posición de parado, levantando un esquí verticalmente, dejándolo después caer en la dirección opuesta y acer-

dos capas de laminado en fibra de vidrio y resina epoxídica
capas de pintura y barniz poliuretánico
borde superior de protección en aluminio
superficie superior en ABS (acrilobutanoestireno)
dos capas de laminado en fibra de vidrio y resina epoxídica
"suela" exterior de rozamiento muy reducido
pared lateral en polietileno o en resina fenólica
lámina de acero en secciones para dar mayor flexibilidad
núcleo de poliuretano expandido

capas de pintura y barniz poliuretánico
superficie superior sintética especial
fibra de vidrio impregnada de resina epoxídica alrededor del núcleo
núcleo de poliuretano expandido
lámina de acero en secciones
"suela" de polietileno
surco




## CURVA EN CUÑA

Curva en cuña, de comienzo y fin con los esquís unidos: A) salida; B) posición de cuña central; C) empuje del talón externo y carga en el esquí correspondiente mediante inclinación del hombro y flexión de la pierna exterior; D) continúa la flexión de la pierna exterior y la presión del talón externo; termina la curva y comienza la distensión para reunir el esquí de arriba con el de abajo; E) comienzo del descenso en línea diagonal.




El cristiania, a la derecha, es un cambio de dirección, con la finalidad de parar la carrera de los esquís y enlazar dos curvas consecutivas. Es un estupendo preparador para la curva con esquís paralelos, que las primeras veces hay que ejecutar en pendientes suaves y lisas.




## CRISTIANIA

Cristiania visto frontalmente: 1) descenso en línea diagonal; 2) flexión; 3) en distensión, aumentar el avance del esquí interior e iniciar el empuje de los talones hacia el exterior; 4) continuando la presión de los talones, volver gradualmente en flexión; 5) bloqueo y parada.

cándolo, por último, al otro esquí; la *cuña*, que consiste en colocar los esquís en forma de V y poner el peso del cuerpo sobre un esquí, empujando la cola hacia el exterior para efectuar la curva; y *ruade*, que incluye el levantamiento completo de las colas de los esquís al dar las curvas.

**Tipos de esquí** Los tres tipos fundamentales de esquí (de descenso, de salto y de fondo) tienen características comunes: las punteras redondeadas y curvadas ligeramente hacia arriba, los cantos afilados y las colas escuadradas. Los esquís tienen además una pequeña curvatura hacia arriba, que afecta a toda la longitud del esquí y que tiene la finalidad de distribuir de manera más uniforme el peso del esquiador sobre el esquí. La longitud puede variar, aunque generalmente los esquís de descenso miden unos 200-210 cm, tienen unos 7-8 cm de anchura y casi 2 cm de espesor. Los esquís de fondo son ligeramente más largos (hasta 240-250 cm), mucho más anchos y con tres surcos longitudinales sobre la superficie inferior en vez de una.

Los esquís primitivos se obtenían de huesos de animales, y más tarde empezó a utilizarse la madera maciza. Los esquís de madera se utilizan todavía hoy, y consisten en laminados de madera recubiertos de material plástico, muy resbaladizo, con el fin de aumentar su velocidad y resistencia. La madera tiene buenas cualidades de amortiguación, pero es vulnerable a la rotura, al alabeo y a la fatiga del material. Los esquís metálicos están hechos de chapas metálicas y paredes de plástico que encierran un núcleo interno de madera laminada o, más recientemente, de espuma de poliuretano. Estos esquís son muy resistentes y duraderos y los más aceptados para esquiar sobre nieve en polvo. Los esquís de fibra de vidrio se construyen de acuerdo con el mismo principio de "emparedado" que los metálicos. La fibra de vidrio tiene buenas cualidades de amortiguación y es muy apropiada para el esquí de pista. Los esquís de fondo son extremadamente ligeros, tienen también una pequeña ranura debajo de la "suela" y generalmente son de madera estratificada. Algunos tienen los cantos inferiores reforzados con láminas de metal para agarrar mejor en el hielo. En el esquí de descenso, los esquiadores van provistos de pesadas botas atadas a los esquís por medio de fijaciones especiales que liberan automáticamente el pie en caso de caída. En cambio, para el esquí de fondo y para el salto, se utilizan botas muy ligeras y flexibles. Para el descenso se utilizan pequeños palos ligeros o "bastones" que ayudan al esquiador a mantener el equilibrio y le permiten imprimir fuertes empujes con los brazos durante las evoluciones. Tienen casi 120 cm de largo, una pequeña correa que permite empuñarlos y los extremos inferiores en punta, con un anillo o un disco de plástico, radiado, para que no se hundan demasiado en la nieve.

# Indice
# Volumen V

